

GSM – Global System for Mobile communications

Introdução

A criação da norma GSM para comunicações móveis foi um exemplo de sucesso quer em termos tecnológicos e comerciais. Pela primeira vez uma norma foi adoptada globalmente ao nível de um continente para fornecimento de serviços de comunicação baseados em comunicação digital. O GSM permitiu transpor para as comunicações móveis, os conceitos e serviços associados à norma RDIS, até antes nunca disponibilizados em sistemas de comunicação via rádio.

A concepção da norma visou não somente aspectos técnicos como aspectos comerciais. Assim foram adoptadas soluções visando o baixo custo dos equipamentos de assinante de modo a possibilitar uma maior adesão do público em geral.

A adopção de transmissão digital e posterior escolha de técnicas de divisão na frequência e no tempo, para acesso ao canal rádio permitiu aumentar consideravelmente a capacidade do sistema face aos sistemas analógicos usados até então na Europa.

A norma abrange todos os aspectos relacionados com os três primeiros níveis do modelo OSI, isto é, o nível físico, o lógico e por fim o nível de rede. Na sua concepção e com o objectivo de diluir custos de implementação ao longo de uma janela temporal

mais vasta, foram definidas 3 fases de implementação com diferentes tipos de serviços associados:

Fase 1 ou E1

Fase 2 ou E2

Fase 2+ ou 2.5

A última fase corresponde à implementação de serviços de dados a ritmos de 64 Kbps, baseados em comutação de pacotes.

ATRIBUTOS GSM 900 e DCS 1800

Norma	ETSI séries 1 a 12
Frequências utilizadas (MHz)	890 – 915 935 – 960
Faixa de frequências disponível (MHz)	25 + 25
Modo de acesso	TDMA/FDMA
Espaçamento dos canais rádio (KHz)	200
Separação entre canais rádio de cada sentido (MHz)	45
Número de canais rádio uplink e downlink	124
Número de canais de voz por canal rádio Débito total	8
Débito parcial	16
Tipo de transmissão	Digital
Débito do canal rádio (Kbit/s)	270
Tipo de codificação	RPE-LTP
Modulação	GMSK
Protecção de canal C/I (dB)	9
Protecção do canal adjacente (dB)	60
Roaming e Handover	Sim
Potência máxima do móvel	(W) 8 (+39 dBm)
Sensibilidade de recepção do móvel (dBm)	102

Raio máximo de células (Km)	30
Débito útil máximo por canal do voz (bits/s)	9600
Salto de frequência	Sim
Cartão de assinante	Sim
Autenticação	Sim
Codificação no interface rádio	Sim
Duração da trama (ms)	4,615
Tráfego	$\leq 1\,000\text{ E/Km}^2$

Tabela 1 A– Características gerais do sistema GSM 900.

Norma	ETSI séries 1 a 12
Frequências utilizadas (MHz)	1710 - 1785 1805 - 1880
Faixa de frequências disponível (MHz)	75 + 75
Modo de acesso	TDMA/FDMA
Espaçamento dos canais rádio (KHz)	200
Separação entre canais rádio de cada sentido (MHz)	95
Número de canais rádio uplink e downlink	374
Número de canais de voz por canal rádio Débito total	8
Débito parcial	16
Tipo de transmissão	Digital
Débito do canal rádio (Kbit/s)	270
Tipo de codificação	RPE-LTP
Modulação	GMSK
Protecção de canal C/I (dB)	9
Protecção do canal adjacente (dB)	60
Roaming e Handover	Sim
Potência máxima do móvel	(W) 4
Sensibilidade de recepção do móvel (dBm)	100
Raio máximo de células (Km)	8
Débito útil máximo por canal do voz (bits/s)	9600
Salto de frequência	Sim
Cartão de assinante	Sim
Autenticação	Sim

Comunicação sem fios	GSM
----------------------	-----

Codificação no interface rádio	Sim
Duração da trama (ms)	4,615
Tráfego	$\leq 1\ 000\ \text{E/Km}^2$

Tabela 1 B– Características gerais do sistema DCS 1800.

Nas especificações da fase 1, o GSM utiliza duas bandas de 25 MHz, na banda dos 900 MHz. A MS transmite dentro da gama de frequências contida entre os 890 e 815 MHz, sendo a faixa de frequências entre 935 e 960 MHz reservada para a transmissão da estação base. Cada sub-banda de 25 MHz encontra-se por sua vez dividida em 125 canais de 200 KHz. Destes 125 canais, o canal 0 serve como banda de guarda ou atribuído a serviços de baixa frequência. Pode-se definir o ARFCN (Absolute radio frequency Channel Number) utilizando a expressão

$$F_{ul}(n) = 890\text{MHz} + n * 0.2\text{MHz}$$

$$F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 45\text{MHz}$$

com

$$n = \text{ARFCN}, 1 \leq n \leq 124$$

Devido a restrições impostas pela interferência co-canal e canal adjacente, a cada BTS são normalmente atribuídas 16 frequências (situação que corresponde a um factor de reutilização de 1/7). A coexistência de sistemas analógicos como AMPS impõe restrições mais severas na atribuição das frequências, já que os sistemas analógicos usam frequências próximas das atribuídas aos GSM

Em fase posterior a largura de banda foi alargada em 10 MHz, quer para o Uplink (comunicação estação móvel para estação base) quer para o downlink (comunicação estação base para estação móvel), permitindo 50 canais adicionais. Estes canais encontram-se numerados entre 974 e 1023, sendo o ARFCN agora calculado por:

$$F_{ul}(n) = 890\text{MHz} + n * 0.2\text{MHz}, \text{ com } n = \text{ARFCN}, 0 \leq n \leq 124$$

$$F_{ul}(n) = 890\text{MHz} + (n - 1024) * 0.2\text{MHz}, \text{ com } n = \text{ARFCN}, 975 \leq n \leq 1023$$

e

$$F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 45\text{MHz}$$

Com a introdução do DCS 1800 na Europa (fase 2 ou E2) e DCS 1900 no EUA, aumentou-se a capacidade do sistema por meio de 374 canais adicionais. Utiliza-se a banda dos 1710 a 1785 MHz para Uplink e a banda entre 1805 e 1880 MHz para Downlink, sendo agora o afastamento entre canais duplex de 95 MHz. Para efeitos de distinção com os canais definidos na primeira fase estes canais estendidos são numerados entre 512 e 885, sendo agora o ARFCN definido por:

$$F_{ul}(n) = 1710\text{MHz} + (n - 511) * 0.2\text{MHz}$$

$$F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 95\text{MHz}$$

com

$$n = ARFCN, 512 \leq n \leq 885$$

Associado ao incremento de capacidade (devido ao aumento de portadoras) a fase 2 contempla igualmente uma diminuição da potência empregue na MS e BTS. Notar que na fase 2, também é introduzido o conceito de micro-célula, com redução adicional do nível de potência empregue na BTS. Esta diminuição encontra-se patente, nas tabelas 2, 3 e 4, apresentadas a seguir.

Classe de potência	Potência máxima da MS	Potência máxima da BTS
1	20 W	320 W
2	8 W	160 W
3	5 W	80 W
4	2 W	40 W
5	0.8 W	20 W
6		10 W
7		5 W
8		2.5 W

Tabela 2 – Níveis de potência no GSM

Classe de potência	Potência máxima da MS	Potência máxima da MS	Potência máxima da BTS (DCS – 1800)	Potência máxima da BTS (DCS – 1800)
1	1 W	1 W	20 W	40 W
2	0.25 W	0.25 W	10 W	20 W
3		2 W	5 W	10 W
4			2.5 W	5 W

Tabela 3 – Níveis de potência para GSM fase 2

Classe de potência	Potência máxima da Micro BTS (GSM)	Potência máxima da Micro BTS (DCS –1800)	Potência máxima da Micro BTS (DCS –1800)
M1	0.25 W	1.6 W	1.6 W
M2	0.08 W	0.5 W	0.5 W
M3	0.03 W	0.16 W	0.16 W

Tabela 4 – Níveis de potência para micro-células

No sistema GSM utiliza-se uma combinação de FDMA com TDMA em cada portadora. Com o TDMA – *Time Division Multiple Access*, cada portadora é dividida em oito intervalos temporais. Cada MS (Mobile Station) recebe e envia na mesma

janela temporal, o que significa que cada portadora suporta oito conversas em simultâneo.

Ao comparar as especificações dos dois sistemas, além do número de canais disponíveis, a grande diferença reside na potência da MS e BTS. O sistema *GSM* permite uma grande diversidade no tipo de equipamento móvel, podendo a potência deste oscilar entre os 20 W e os 0,8 W. O sistema *DCS 1800* foi desenvolvido desde o início com especificações revêem apenas a utilização de equipamento de baixa potência. Convém frisar que o DCS foi concebido para células sujeitas a um elevado tráfego, que se situam normalmente em áreas urbanas densamente povoadas. Torna-se óbvio que as dimensões das células são menores. Consequentemente, o menor nível de potência empregue é acompanhado por uma menor atenuação devido à distância entre MS e BTS.

A sensibilidade de recepção por parte dos móveis é outra das diferenças entre os sistemas, sendo mais baixa no *DCS 1800*, o que não é uma desvantagem, pois esta diferença pode ser sempre compensada pela estação de base, aumentando a potência de transmissão.

Contudo, o *DCS 1800* pode ser considerado como um upgrade do sistema *GSM 900*, visando cenários de elevado tráfego. Trata-se de um complemento do sistema dedicado aos meios urbanos densamente habitados e áreas com taxas de urbanização elevadas. O *DCS 1800* pode ser considerado o meio pelo qual o

sistema celular conquistará os utilizadores nos meios de grande densidade de assinantes e no interior de edifícios.

Organização/estrutura

Rede GSM encontra-se organizada hierarquicamente, apresentando as seguintes características:

- Formada por pelo menos por uma região administrativa à qual está atribuído um MSC (Mobile switching Center)
- Cada região administrativa tem pelo menos uma LA (Location Area)
- LA também é designada por visited area
- A cada grupo de células é atribuído um controlador de estação base (BSC Base Station Controller)

Logo cada LA tem pelo menos uma BSC, podendo células pertencentes ao mesmo BSC pertencer a diferentes LA's.

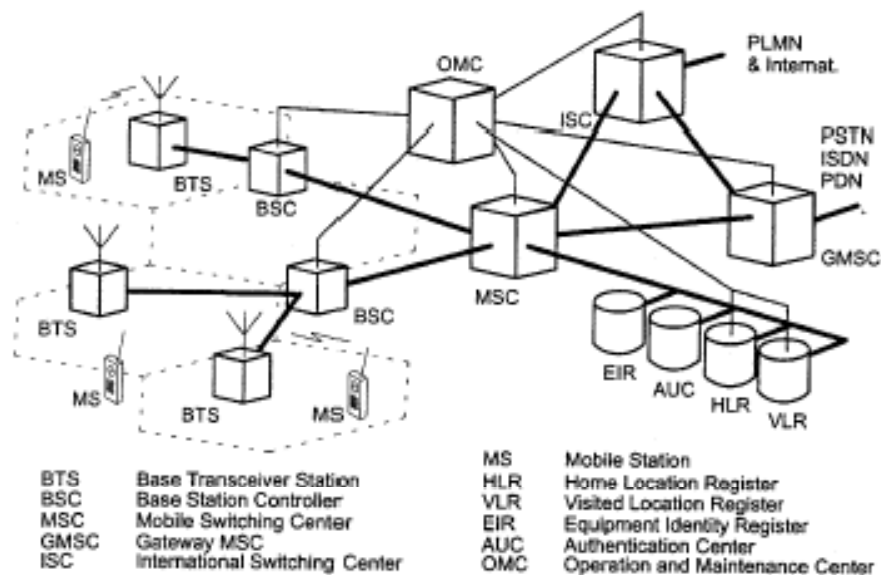


Figura 1 –Estrutura da rede GSM (PLMN)

Da figura 1, destacam-se os seguintes aspectos:

1. Célula formada pela cobertura de uma BTS
2. Várias estações base controladas por uma BSC
3. Tráfego gerado pelos terminais móveis encaminhado pelo MSC
4. Chamadas de ou para outras redes distintas encaminhadas pelo GMSC (Gateway Mobile switching Center)
5. Controlo de manutenção e operacional realizado pelo OMC (Operation and Maintenance Center)

Existência de várias bases de dados relevantes para o funcionamento e gestão da rede:

- HLR Home Location register
- VLR Visited Location Register
- AUC Authentication Center
- EIR Equipment Identity register

HLR

Base de dados que contem a informação fixa respeitante a tipo de utilizadores (tipo assinatura, etc.) e informação temporária como localização de utilizador. Essencial no estabelecimento de uma chamada, pois há que conhecer previamente a localização do utilizador. Normalmente existe uma por cada PLMN e não exerce controlo directo sobre a MSC.

VLR

Responsável por um grupo de LA's, contendo a informação respeitante aos utilizadores sobre a gestão dos LA's. Abrange informação sobre utilizadores transferida da HLR e identificações temporárias. Usualmente gere uma area que pode abranger vários MSC's.

AUC

Base de dados que contem informação necessária à autenticação, como chaves de utilizadores, encriptação. Está relacionado com a HLR, fornecendo a esta conjuntos de parâmetros necessários à autenticação de uma MS a qualquer uma das LR. Tem conhecimento do algoritmo utilizado para efeitos de autenticação para cada utilizador. Todos os algoritmos de autenticação encontram-se guardados no centro de autenticação e no cartão SIM da MS.

EIR

Base de dados que contem informação relativa ao equipamento. Contem base de dados com IMEI dos vários equipamentos e permite uma segurança acrescida ao nível de operação da rede, bem como evitar a utilização fraudulenta de equipamento (equipamento desbloqueado, roubado, etc.)

No GSM existe uma distinção entre equipamento e utilizador, já que a identidade do utilizador está associada ao SIM, podendo estar associados vários números de telefones. No entanto existem uma grande variedade de identificadores no GSM, que permitem uma maior flexibilidade operacional, à semelhança do RDIS.

Identificadores

IMEI – (International Mobile Station Equipment Identity)

Identificador atribuído a cada terminal móvel a nível internacional. Atribuído pelo fabricante e registado pelo operador na EIR. Permite obter informação sobre:

- Equipamento roubado
- Equipamento fora de serviço
- Terminais sem serviço (contencioso)
- Terminais e respectivas restrições

A EIR está assim subdividida em três categorias na classificação do equipamento:

- Branca (tem todo o equipamento)
- Preta (equip. Roubado, avariado ou suspenso)
- Cinzenta (equip. Avariado ou com software obsoleto)

Notar que no registo do equipamento na rede este identificador é solicitado e tem uma estrutura hierárquica, contendo os seguintes elementos:

- TAC (Type Approval Code) 6 dígitos atribuídos pelo operador
- FAC (Final Assembly Code) 6 dígitos atribuídos pelo fabricante

- SNR(Serial Number) 6 dígitos atribuídos pelo fabricante
- SP (Spare) 1 dígito

Permite identificar fabricante e data de fabrico.

IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity)

Identificador atribuído a um utilizador quando subscreve o serviço a um operador. É único, encontra-se no SIM e na EIR.

- Essencial para a segurança e billing nas redes GSM
- Guardado no SIM para efeitos de Roaming
- Necessidade de concordância de IMEI e IMSI válidos para efectuar chamada.

Constituído por:

- MCC (Mobile country code) 3 dígitos
- MNC (Mobile Network Code) 2 dígitos identificador de rede do operador
- MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) 10 dígitos identificador do utilizador
- MNC+MSIN atribuídos pelo operador
- MCC atribuído internacionalmente

MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number)

- Consiste no número de telefone e é guardado no SIM.
- SIM pode conter vários números
- Permite distinguir identidade de subscritor de número de telefone
- Separação de IMSI e MSISDN permite garantir confidencialidade de utilizador
- Associação IMSI com MSISDN somente conhecida pelo operador.
- Vários MSISDN por utilizador associados a diversos serviços

Endereço MSISDN com a estrutura dos números ISDN:

- CC (country Code)
- NDC (National Destination Code)
- SN (Subscriber Number)

A diferenciação entre IMSI e MSISDN permite distinguir entre identificação de assinante e números atribuídos.

Possibilidade de existirem vários MSISDN associados a um SIM.

Um assinante pode ter vários MSISDN, estando cada um ligado a um serviço distinto.

A associação IMSI e MSISDN só é do conhecimento do operador.

MSRN (Mobile Station Roaming Number)

Trata-se de um número atribuído temporariamente pela VLR e permite o encaminhamento de chamadas pela BS. Para realização de uma chamada o MSRN é passado pelo HLR para o GMSC.

Tem a mesma estrutura do MSISDN.

CC e NDC atribuídos pela rede visitada e dependem da localização. O SN é atribuído pela VLR, sendo único na rede. A atribuição do MSRN é realizada de modo a que o MSC que está a ser utilizado possa ser identificado a partir do SN, o que se torna vantajosos em termos de operações de encaminhamento.

Métodos de atribuição pelo VLR:

- Cada vez que o MS se regista numa LA. Neste caso o MSRN é comunicado ao HLR pelo VLR, para efeitos de routing. No caso de chamadas para o MS, o NSRN é solicitado pelo HLR da BS, o que permite a identificação do MSC e posterior encaminhamento das chamadas para este.
- Cada vez que o HLR o solicita para o estabelecimento de chamadas para o MS. Nesta situação o NSRN não é guardado no HLR, já que é solicitado no estabelecimento da chamada, sendo guardado o endereço do VLR corrente.

Em caso de encaminhamento o HLR consulta o VLR usando um MSISDN ou IMSI de forma a obter um MSRN válido.

LAI (Location Area Identity)

Trata-se do identificador de cada LA no PLNM.

Está estruturado hierarquicamente, com um campo internacional e um dependente do operador:

- CC (Country Code) 3 dígitos
- MNC (Mobile Network Code) 2 dígitos
- LAC (Location Area Code) 5 dígitos

O LAI é difundido periodicamente pela BS no canal BCCH (Broadcast Control Channel) e permite identificar a BS dentro da rede. O MS ao escutar o BCCH conhece a sua localização a partir do LAI.

Alterações no LAI detectadas pelo MS são comunicadas ao LA actual, para se proceder à actualização da informação da sua localização na HLR e VLR. Este processo é essencial na medida em que o MS escolhe a BS cujo o sinal é mais forte, e se regista na VLR da LA correspondente. Permite ainda a localização do MS na rede. (base para serviços de seguimento e localização de pessoas).

TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)

- Atribuído pela VLR e só tem significado na área gerida pela VLR.
 - Usado para substituir o IMSI ,na identificação da MS.
 - Garante confidencialidade da identidade do subscritor e maior segurança relativamente a fraudes, uma vez que não é difundido via rádio o seu IMSI.
 - Alterado periodicamente e guardado no SIM da MS e na VLR.
 - Dependente do operador e constituído por 32 bits, sendo excluído FFFF FFFF em Hexadecimal.
-
- LMSI
 - Utilizado pela VLR como chave de aceleração em operações de busca na base de dados.
 - Atribuído quando a MS se regista na VLR e é conhecido pela HLR.
 - Nas mensagens enviadas para a MS, este campo é adicionado, de forma a servir com chave de pesquisa na VLR.
 - Utilizado sempre que um MSRN é atribuído em cada chamada, de forma a garantir tempos de estabelecimento de chamada curtos.
 - Formado por 32 bits.

CI (Cell Identifier)

Uma vez que um LA pode abranger várias células, o CI serve para identificar as células existentes.

- Formado por 8 bits.
- CI+LAI formam o GCI (Global Cell Identity)

BSIC

Usado para distinguir estações base vizinhas.

Dois campos:

- NCC (Network Color Code) 3 bits associados ao PLMN
- BCC (Base Transceiver Station Color Code) 3 bits associados à BTS
- Difundido no canal de sincronização.
- Células adjacentes e PLMN têm códigos de cores distintas.

Arquitectura se sistema

O sistema GSM três subsistemas:

- A. BSS (Base Station Subsystem) - Rede rádio
- B. SMSS (Switching and management Subsystem) - Rede de comutação móvel
- C. OMSS (Operating and Management Subsystem) - Rede de operação e manutenção

Sub-sistema A.

Formado por BTS (Base Transceiver Station) +BSC (Base Station Controler).

BTS

Consiste no receptor e emissor de RF, isto consiste na interface ar do GSM, sem operações de controlo ou entre entidades associadas aos protocolos da norma. Realiza a codificação de sinal a o mapeamento em canais. Disponibiliza canais de tráfego(full rate e half rate) e sinalização. É ao nível da BTS que se realiza a atribuição dos canais do planeamento de frequência. Pode-se dizer que a BTS assegura a transmissão e emissão na interface ar do sistema, utilizando para esse efeito TRX's. Nas operações de controlo enquadram-se as funções relacionadas com a gestão de recursos rádio bem como

funções de manutenção e operação do sistema a nível da interface rádio. As funções realizadas podem ser divididas em duas categorias:

Recursos dedicados – tratam-se de funções respeitantes a todos os Ms's presentes na área de cobertura da BTS, como:

- Paging

- Pedido de canal pela MS

- Difusão de informação

Recursos comuns – tratam-se de funções associadas a atribuição de recursos dedicados a um MS. São responsáveis pelo tráfego individual entre um MS e a BTS.

Nesta categoria destacam-se as funções:

- Activação de canal

- Desactivação de canal

- Início de encriptação

- Detecção de handover

A BTS realiza ainda funções relacionadas com a codificação de voz e adaptação de ritmos, detecção de actividade de voz (VAD), multiplexagem de canais lógicos em canais físicos, codificação de canal, interleaving e encriptação.

A gestão dos recursos rádio é assegurada mediante a execução das funções:

- Medição da qualidade de ligação e potência de sinal em todos os canais dedicados activos no uplink. No downlink as medições são realizadas na MS e posteriormente enviadas para a BSC.
- Medição de tempos de propagação para actualização do alinhamento temporal. Esta informação, juntamente com os dados relativos ao uplink, é enviada de seguida para a BSC. A BTS procede igualmente ao envio de sinais para a MS ajustar o timing de transmissão de forma a compensar os atrasos de propagação.
- Controlo de potência da BTS e MS de modo a minimizar a potência de transmissão para redução da interferência co-canal.
- Transmissão, recepção igualização e diversidade.
- Detecção de falhas de ligação que são posteriormente comunicadas à BSC.

BSC

A existência da BSC permite simplificar estruturalmente as BTS's eliminando por exemplo a necessidade de estas possuírem unidades de memória como discos rígidos para armazenamento de informação e permite aliviar a carga

associada ao MSC. Está ligada à gestão da interface rádio da rede e situa-se normalmente entre a BTS e o MSC.

O papel da BSC está relacionado com a gestão dos recursos rádio da interface ar e com o funcionamento correcto da rede. Estas tarefas são asseguradas através das funções:

- Gestão dos dados de configuração e descritivos das células. Note-se que a descrição das células contém informação abrangendo os identificadores das células, os códigos de identificação das BTS e os números de canais de difusão (BCCH).
- Medição de tráfego, tais como número de handovers, número de chamadas caídas, número de tentativas de estabelecimento de chamada, níveis de tráfego. Esta informação é enviada para o OSS.
- Gestão de dados de localização

A BSC tem também a seu cargo a responsabilidade de transferir o software nas estações base, em processos de activação ou em casos de falha, uma vez que estas não dispõem de discos rígidos. A BSC assegura ainda os mecanismos de estabelecimento, manutenção e terminação de ligações com as MS. Na fase de estabelecimento de uma ligação, realiza as seguintes tarefas:

- Envio de mensagens de paging para as BTS pertencentes à área gerida pelo MSC. Estas mensagens são posteriormente enviadas para as MS presentes na área de cobertura de cada BTS.
- Atribui os canais de sinalização utilizados na fase de estabelecimento de ligação. No caso da chamada se iniciar na Ms, verifica o estado de tráfego.
- Atribuição de canais de tráfego definidos pelo MSC, após a atribuição dos canais de sinalização.

Na manutenção, estão envolvidas medições da intensidade do sinal e qualidade da ligação (voz e dados) realizadas pelas Ms presentes e que são enviadas para a BSC. A BSC, atendendo à informação recebida executa operações como:

- Realiza o controlo de Potência, mediante o cálculo da potência de emissão da BTS e das MS, enviando esta informação de 480 ms em 480 ms.
- Define as sequências de salto que são enviadas para a BTS e MS de forma a permitir a realização de Frequency Hopping
- Monitorização de localização com avaliação do estado da ligação entre BTs e MS. Compara esta informação com a informação referente às BTS de outras células, de forma a verificar a necessidade de handover.

- Handover
- Envio de mensagens curtas

Tratam-se de operações do nível físico.

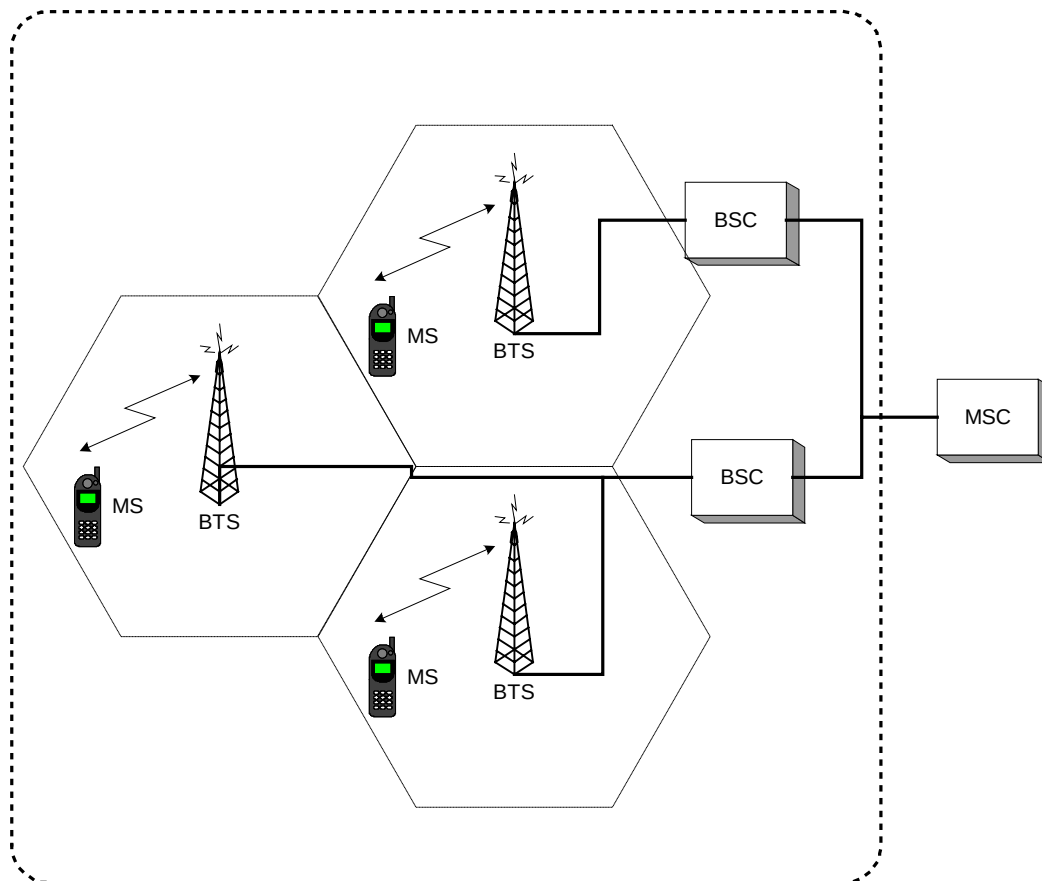


Figura GSM 2 – Parte rádio da rede

Sub-sistema B.

Consiste no subsistema formado pelos comutadores e bases de dados necessárias ao encaminhamento e gestão de serviço.

Composto por:

MSC (Mobile Switching Center)

GMSC (Gateway Mobile Switching Center)

ISC (International Switching Center)

MSC

Trata-se do nó de comutação da PLMN, podendo existir vários numa PLMN. O BSS (Base Station Sub-system) encontra-se subordinado ao MSC, sendo este responsável por uma área de serviço. É responsável pela gestão de chamadas, pelos handovers entre dois BSC pertencentes ao mesmo MSC ou handovers entre BSC's situados em MSC's distintos. Como responsável pela gestão de chamadas, executa as seguintes funções:

- Todas as funções de uma central de comutação da rede fixa.
- As operações de gestão e atribuição de canais
- Taxação e gestão de contas
- Handover entre células, registo de utilizadores e localização.
- Interface com redes publicas de voz (PSTN) e dados (ISDN).

Embora não estejam definidos os modos de implementação das funcionalidades do MSC, em termos arquitecturais, encontram-se definidos cinco módulos funcionais:

Módulo de registo de visitantes – Suporta a VLR, sendo responsável pelos dados referentes aos MS que se situam na área coberta pelo MSC. Os dados provenientes da HLR abrangem a informação abrangendo:

- IMSI
- MSISDN
- Lista de serviços suportados pelo assinante
- Tipo de assinante
- Triplets usados no processo de autenticação
- Dados de localização

MAP (Mobile Application Part) – parte funcional da aplicação móvel abrangendo procedimentos de sinalização com a HLR, tais como:

- actualização de localização;
- cancelamento de localização;
- envio de parâmetros solicitados pelo HLR, para geração de novos triplets;
- envio de número de Roaming ao HLR para envio posterior ao GMSC .

Módulo de análise – responsável pela análise dos IMSI.

Módulo de administração responsável pela configuração e definições dos BSC's, das células, dos IMSI e dos números de roaming. Disponibiliza ainda toda a

informação relacionada com as configurações e definições adoptadas.

Módulo de acesso – associado ao estabelecimento, manutenção e terminações de ligações entre MS's e a rede.

Para este efeito são realizadas as funções:

- Gestão de ligação na qual se faz a coordenação de estabelecimentos e libertação de chamadas bem como o supervisionamento das mesmas;
- Assegura o processo de actualização de localização e os respectivos procedimentos de autenticação;
- Contem tabelas relacionando BSC's e LAI. Coordena ainda o paging, o handover e inicia processo de encriptação;
- Permite encaminhar tráfego para o BSC.

GMSC

Permite a interligação de chamadas provenientes de redes distintas. Qualquer chamada da rede fixa é encaminhada pela GMSC, para a MSC que cobre a área de serviço onde está a MS. Para esta operação é solicitada informação sobre a localização do MS destino à HLR.

Chamadas para outras redes móveis ou países são encaminhadas pela ISC.

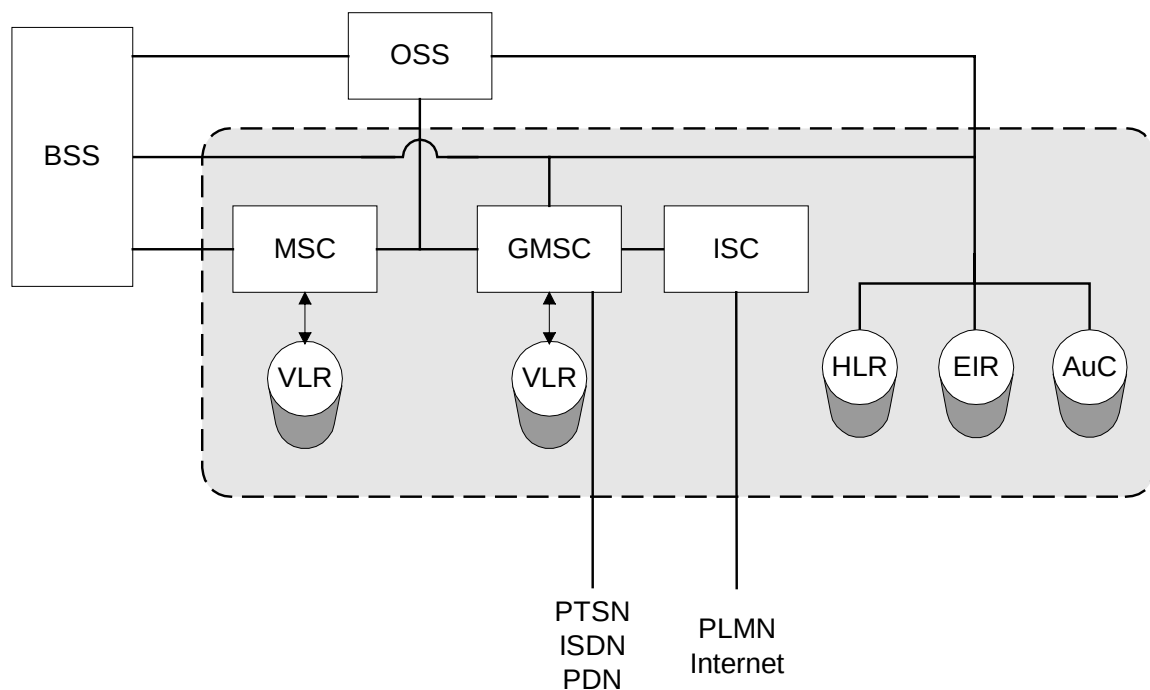


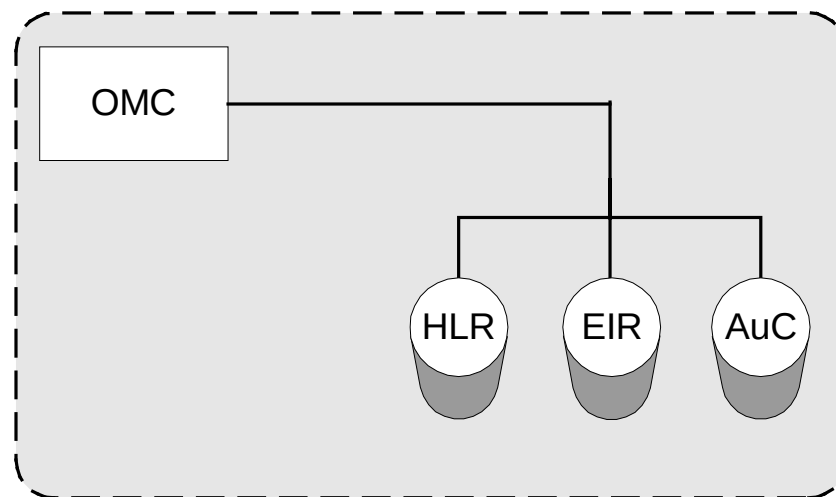
Figura Gsm 3 – sub-rede de comutação

Manutenção e gestão de rede

O subsistema OMSS (Operation and Maintenance Sub-System) controla as operações de gestão e manutenção da rede. Estas são monitorizadas por um centro de controlo OMC (Operation and Maintenance Center), que executa as seguintes operações:

- Gestão comercial e administração
- Optimização e configuração de rede
- Gestão de segurança
- Operações de manutenção

A gestão da rede pode ser realizada num ou vários NMC (Network Maintenance Center).

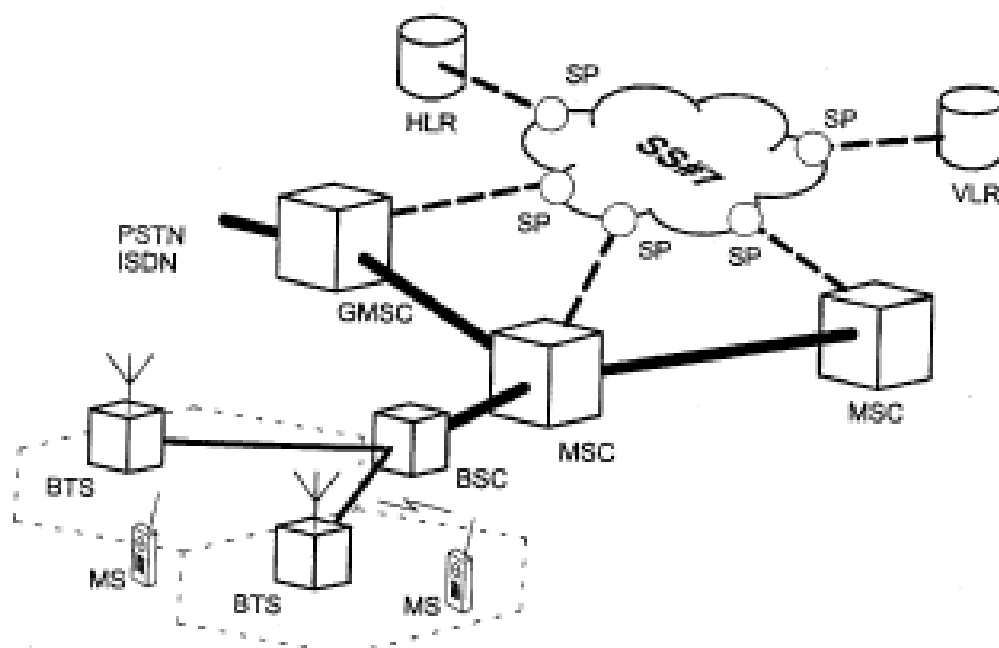


Arquitectura da PLNM

Os elementos, que constituem o subsistema de manutenção e sinalização, estão interligados entre si por linhas dedicadas a 2 Mbps. Estas podem ser feixes hertzianos ou linhas alugadas. No subsistema BSS utilizam-se linhas a 64 kbps. Notar que a sinalização é transportada a dois ritmos distintos 2 Mbps e 64 kbps, consoante o subsistema considerado. A sinalização usada no PLNM consiste na sinalização SS7 (Signaling System Number 7). A parte móvel da rede constituída por MSC, HLR e

VLR utiliza uma extensão deste sistema de sinalização, chamado MAP (Mobile Application Part).

A sinalização entre MSC e BSS chama-se BSSAP (Base station System Application Part). Somente na parte da interface rádio é que a sinalização é específica e difere da SS7.



Interfaces de sistema

São utilizadas para formas de sinalização e transferência de dados entre entidades que formam o sistema GSM.

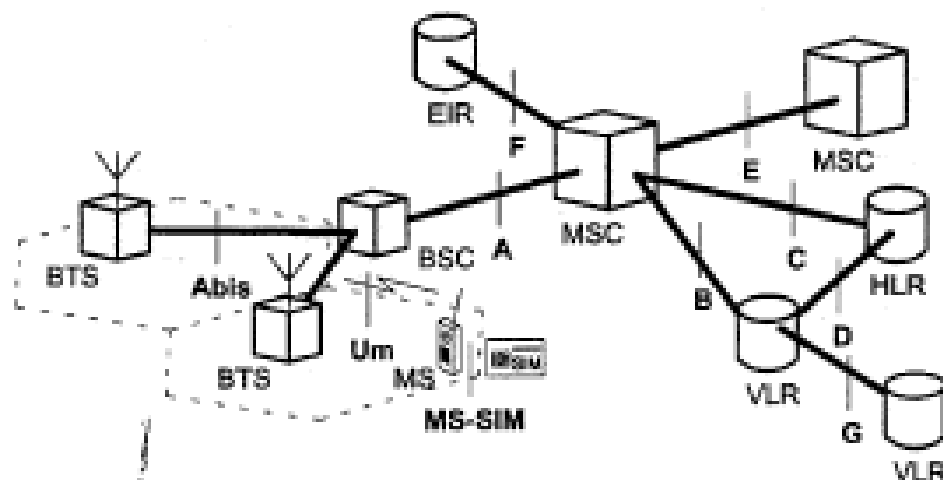


Figura 3 – Interfaces do sistema

Na figura anterior, constam as seguintes interfaces:

- UM – Interface da parte rádio
- A – interface entre MSC e BSC, usada para transferência de dados para gestão da BSS, controlo de ligações e gestão de MS.
- Abis – Interface entre BTS e BSC.
- B – Utilizada para transferência de dados entre MSC e VLR. O MSC transfere dados referentes sobre localização de MS presentes na sua área ou dados associados a serviços solicitados pelos MS's. Posteriormente o HLR é

actualizado com esta informação, usando-se para esse efeito a interface D. O VLR também transfere dados para o MSC via esta interface, quando o MSC solicita informação respeitante a uma MS que se encontre presente na área administrada.

- C - Utilizada pelo MSC para envio de informação de billing ao HLR, ou para pedir informação de encaminhamento ao HLR durante o estabelecimento de uma chamada. No caso de uma chamada proveniente da rede fixa, esta é encaminhada para a GMSC que pode por sua vez questionar a HLR acerca de informação necessária ao encaminhamento
- D – Utilizada para transferência de informação relacionada com localização de MS's e sua gestão. É via esta interface que a VLR informa a HLR acerca da localização corrente e do seu MSRN. Via esta interface o HLR transfere toda a informação
- E – Necessária quando se realiza handover entre MSC's
- F – Como a identidade do subscritor ou do equipamento pode ser verificada durante uma operação de actualização, para efectuar pedidos e confirmar identidades de

equipamentos o MSC utiliza esta interface para aceder ao EIR

- G- utilizada quando durante a actualização de informação de localização o novo VLR necessita de dados do VLR anterior.

Operações fundamentais do sistema

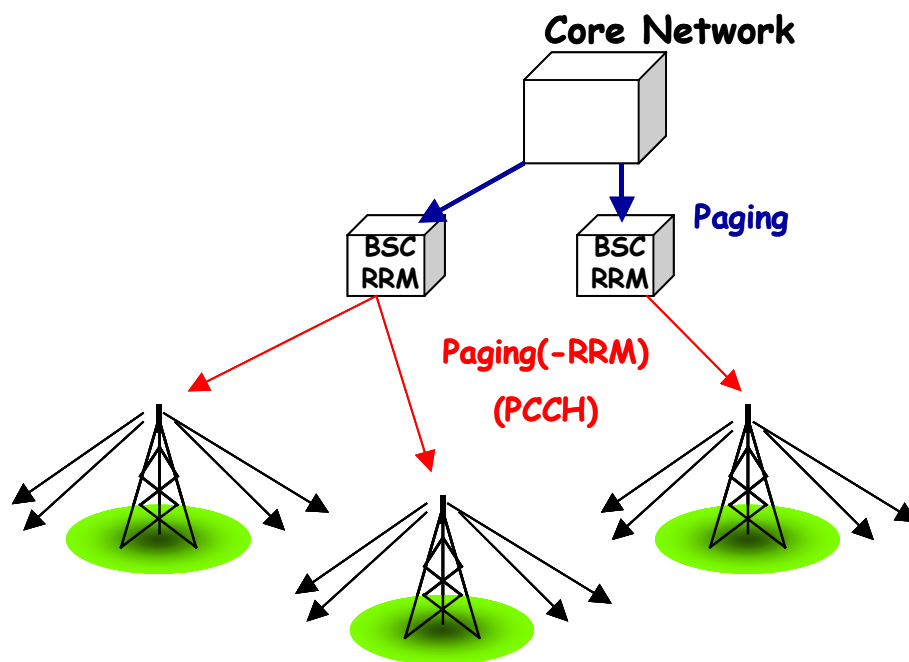
Registo

Quando uma MS se liga vasculha todos os canais dentro da banda do GSM, de forma a detectar a existência de cobertura de rede. No caso detecção de rede, lê a informação do sistema a partir do forward channel, na qual constam identificador de célula (LAI), o MSRN e que lhe permitem conhecer o posicionamento dentro da rede. No caso da localização actual não coincidir com a guardada na última vez que esteve ligada, corre o procedimento de registo exemplificado a seguir:

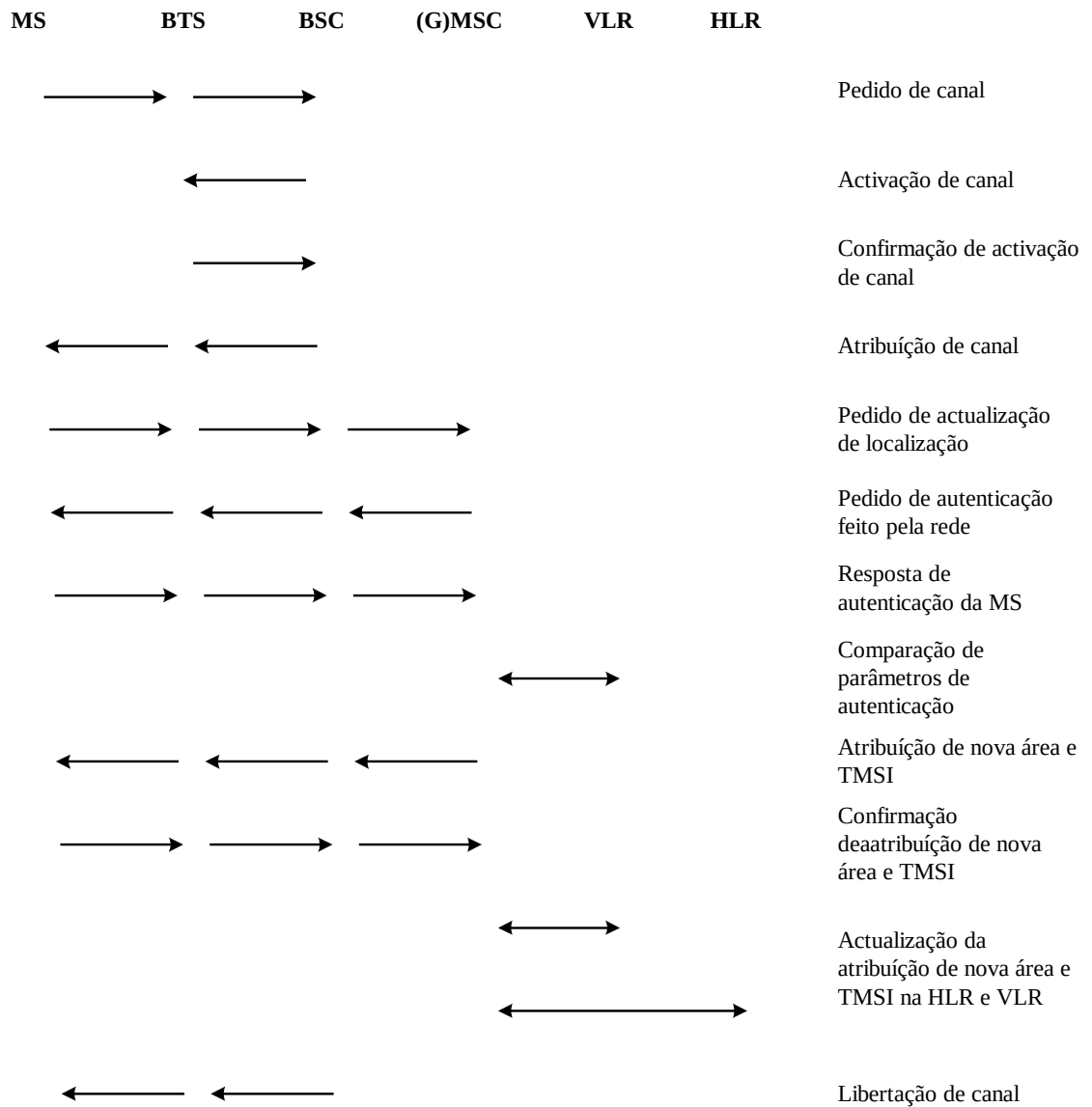
1. MS solicita canal à rede
2. Canal atribuído via interface UM. BSC activa canal na BTS e BTS solicita confirmação de atribuição de canal.
3. MS informa BTS que pretende executar actualização de localização. BTS passa pedido a BSC e esta informa

(G)MSC. Notar que é realizada em primeiro lugar a autenticação da MS.

4. Se for válida a autenticação o (G)MSC atribui um TMSI à MS, o canal é atribuído pela BSC via BTS.



A seguir apresenta-se de uma forma esquemática, os passos necessários à execução desta operação, com identificação das várias entidades envolvidas em cada uma das operações.



Procedimentos para registo na rede GSM

Estabelecimento de chamadas

O estabelecimento de chamadas só é possível após a autenticação e actualização de localização. Dois procedimentos distintos:

MOC (Mobile Originated Call)

MTC (Mobile Terminated Call)

Para realização do procedimento MOC, são necessários os seguintes passos:

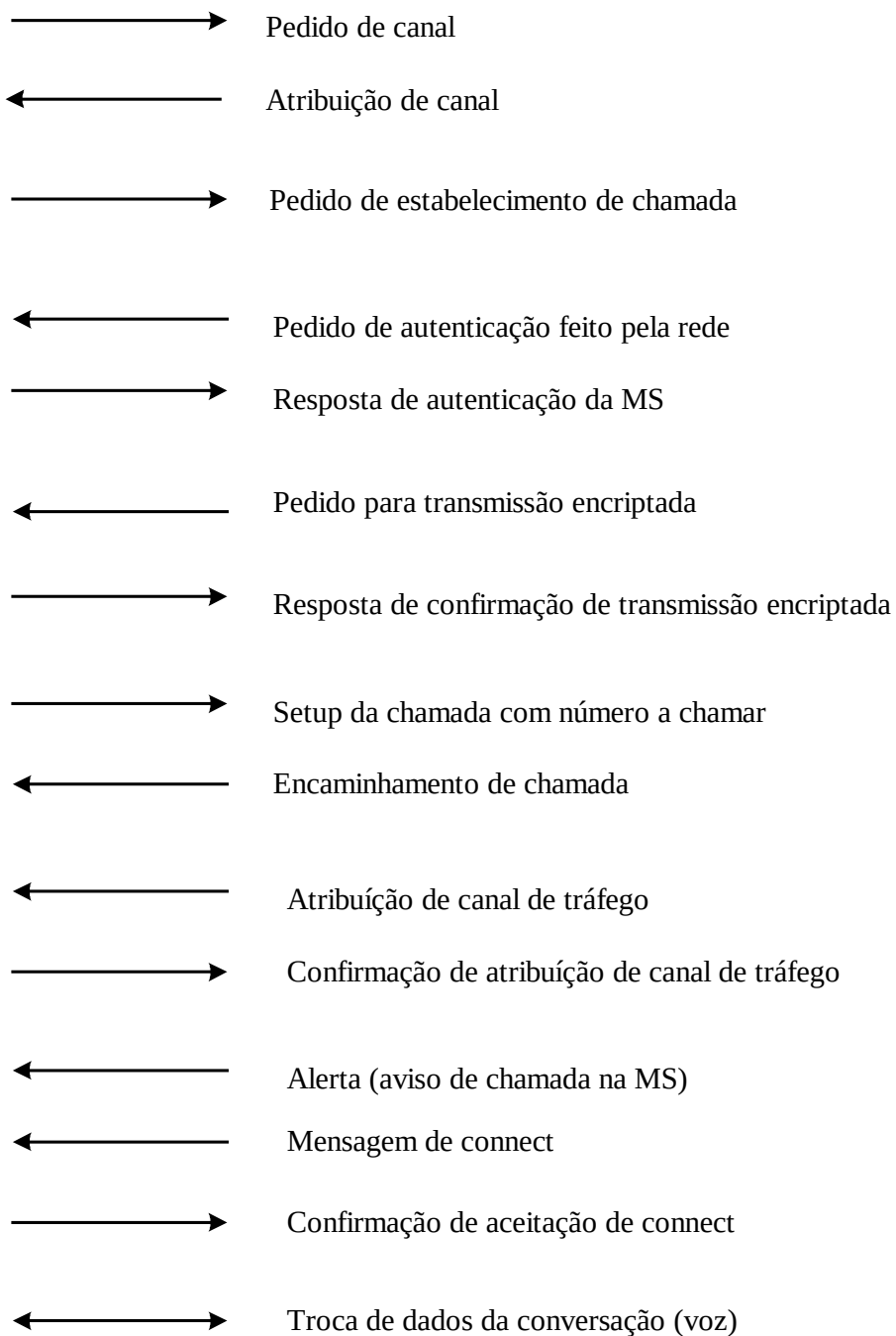
1. MS solicita ao MSC atribuição de um canal com uma mensagem de setup, onde constam os identificadores TMSI e LAI.
2. MSC informa VLR que MS com TMSI na área identificada por LAI solicitou uma chamada.
3. Autenticação da MS
4. Início de criptografia dos dados
5. BTS informa MS para criptografar dados. Somente BTS e MS conhecem a criptografia usada.
6. Envio pela MS de mensagem de setup com número que se pretende ligar.
7. A BSC atribui o canal para transferência de dados ao MS via BTS.
8. Em caso de sucesso, a MS informa BTS

No caso do MTC, são necessários os seguintes passos:

1. Chamada é encaminhada para entidade capaz de interrogar a HLR sobre localização da MS. Normalmente pode ser encaminhada para a GMSC da PLNM à qual a MS pertence.
2. A HLR envia para a GMSC o MSRN
3. A GMSC reenvia a informação para a MSC correspondente. Dependendo do método de obtenção do MSRN, a HLR pode fornecer o MSRN ou solicitar ao VLR.
4. O MSC envia a localização exacta na sua área na mensagem “Send information for setup”. Uma vez que o LA pode abranger várias células, é difundido pelo VLR via MSC/BSS, no canal de paging uma mensagem para a MS.
5. MS responde o que permite determinar o seu TMSI (célula em que se encontra de momento)
6. VLR fornece os dados ao MSC para autenticação do MS
7. Inicialização da criptografia de dados.
8. Estabelecimento da ligação BSS/MS
9. Envio de setup com pedido de chamada a MS

MS

BTS



Passos para realização de MOC

Para finalizar a chamada, os passos executados consistem na troca de um conjunto de mensagens através da interface UM:

MS --> Disconnect --> BSS/MSC

MS ← Release ← BSS/MSC ← Rel --> rede SS7

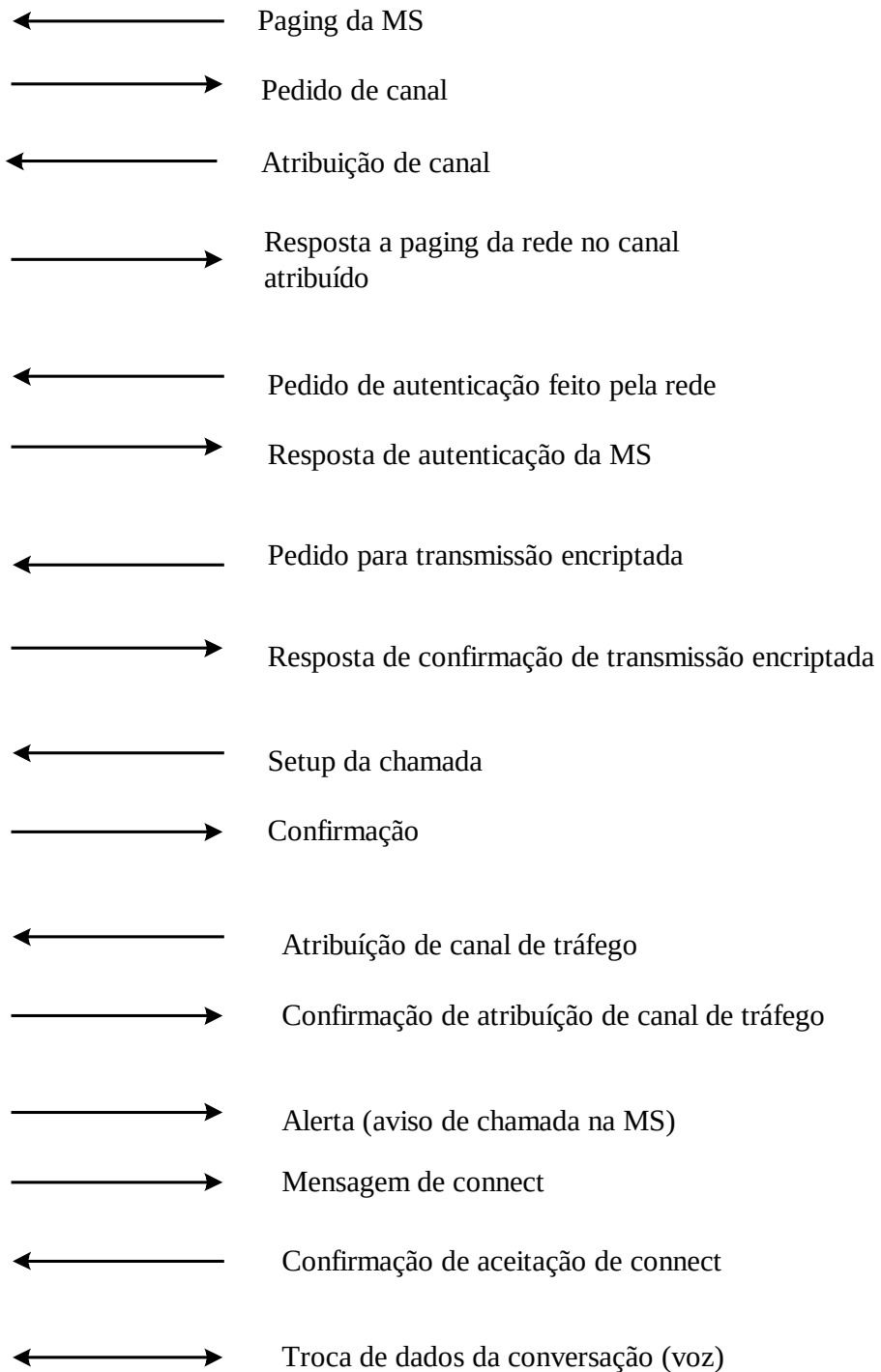
MS --> Release complete --> BSS/MSC

BSS/MSC --> Register charging information --> HLR

MS ← Channel Release ← BSS/MSC

BSS/MSC ← Charging information Ack ← HLR

A informação de billing fica armazenada na HLR

MS**BTS**

Passos para realização de MTS

Autenticação

Baseada no algoritmo A3, que utiliza dois parâmetros:

Ki – Chave de autenticação presente no cartão SIM

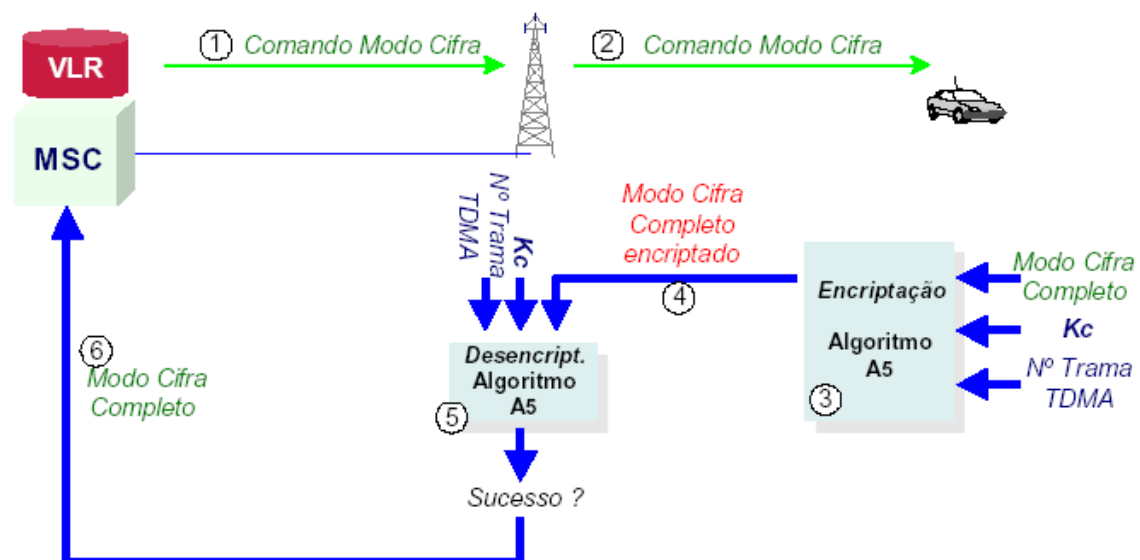
Rand – valor gerado aleatoriamente passado pela BTS à MS

O valor gerado SRES, na MS é enviado para o centro de autenticação que compara com o valor gerado localmente. Para esse efeito o centro de autenticação utiliza os valores de Rand e SRES presentes na HLR e VLR. Estes são recebidos da VLR, após o MSC enviar o comando Start Crippling. Após uma autenticação com sucesso, é atribuído um MSRN que conjuntamente com o LAI é armazenado na HLR e é atribuído um TMSI.

Encriptação

Como o GSM é um sistema digital, a transferência de dados realiza-se através de fluxos de bits, o que permite baralhar os bits enviados segundo um algoritmo pré-definido. Garante-se assim uma maior segurança das comunicações entre MS e BTS, já que escutas dos canais resultantes de intrusões na rede não tornam-se infrutíferas. O algoritmo usado é conhecido pela MS e BTS. Existem dois algoritmos A5/1 e A5/2, sendo o último usado para exportação para países fora do bloco ocidental (não pertencentes a CEE e América do Norte).

Necessitam de uma chave K_c , gerada aleatoriamente com base no algoritmo A8 presente no cartão SIM, e um parâmetro pré-definido K_i . A chave é comum aos processos de baralhamento e desbaralhamento executados na MS e BTS.



Processo de encriptação

Encaminhamento

No estabelecimento de uma chamada, o número indicado no MSISDN, não contém informação referente à localização da MS que se pretende chamar. Para efeitos de estabelecimento de uma comunicação é necessário conhecer a MSC que está a servir a MS que se pretende contactar e a localização da MS. Logo o MSRN tem de ser conhecido e que é atribuído pelo VLR corrente. Quando chega uma chamada ao GMSC, o HLR é a única entidade que contém essa informação, daí a necessidade de o interrogar na inicialização de cada MS. A sequência usual de operações consiste em:

1. Um comutador RDIS reconhece a partir do identificador MSISDN, o tipo de utilizador em presença (Móvel ou fixo), pelo que pode encaminhar, usando os campos CC e NDC, a chamada para o GMSC associado ao PLNM onde o subscritor se encontra.
2. O GMSC solicita o endereço de encaminhamento actual (MSRN) ao HLR, usando o MAP (Mobile Application Part).
3. O MSRN é enviado para a MSC local, que por sua vez define o TMSI do subscritor e inicializa o procedimento de paging na área em que é responsável.
4. A MS responde à chamada paging.
5. É iniciado o procedimento de estabelecimento de chamada.

Quanto ao MSRN existem duas variantes na sua obtenção:

Na actualização local – Nesta variante o MSRN é atribuído em cada actualização da sua localização, pelo que o HLR tem a informação actualizada para fornecimento ao MSC.

Com base em chamada – Nesta situação somente quando é solicitada informação de encaminhamento ao HLR, é que este pede o MSRN ao VLR.

Consoante o tipo de chamada existem três variantes de encaminhamento. Assim consideram-se dois tipos de ligação:

Chamada local no mesmo país – A partir do campo NDC do MSISDN o comutador local reconhece que se trata de uma MS. Quando o comutador local pode interrogar o HLR responsável pelo MSISDN, a ligação pode ser estabelecida via rede fixa até ao MSC correspondente. No caso do comutador não ser capaz de interrogar a HLR, a ligação é redireccionada para a GMSC, sendo da responsabilidade da GMSC a ligação ao MSC correcto (Notar que a GMSC neste caso obtém a informação da HLR).

Chamada internacional – Neste caso a rede fixa reconhece somente o campo CC, pelo que encaminha para o ISC (International Switching Center). O ISC reconhece o NDC e efectua o encaminhamento de acordo com a informação lida. Novamente o ISC pode aceder ao HLR ou não. Em caso afirmativo pode encaminhar via rede fixa a chamada para o MSC adequado. Caso contrário repete-se o processo descrito nas chamadas locais. Neste caso estão presentes três redes distintas:

Rede do país de origem da chamada

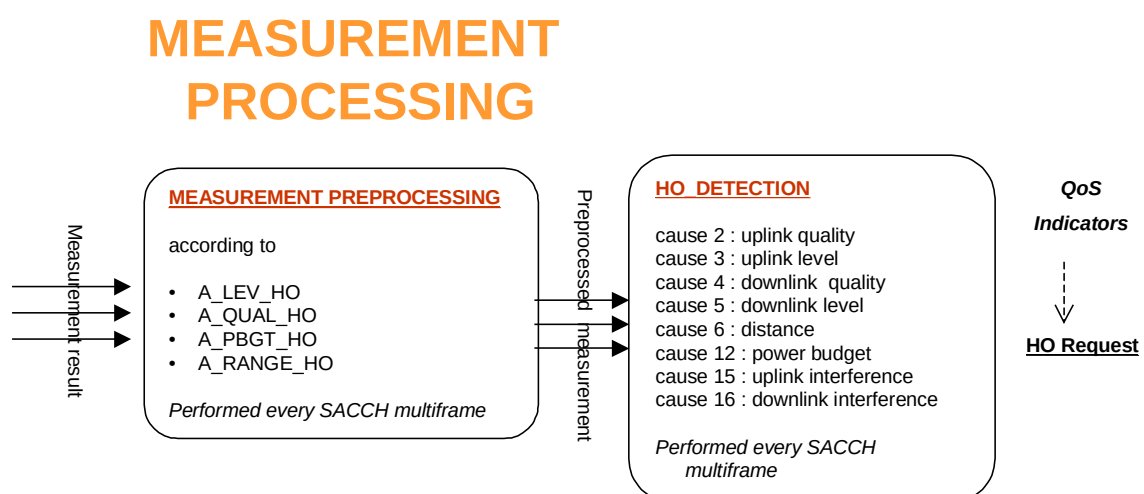
PLNM do subscritor ou Home-PLNM

PLNM de roaming ou Visited-PLNM

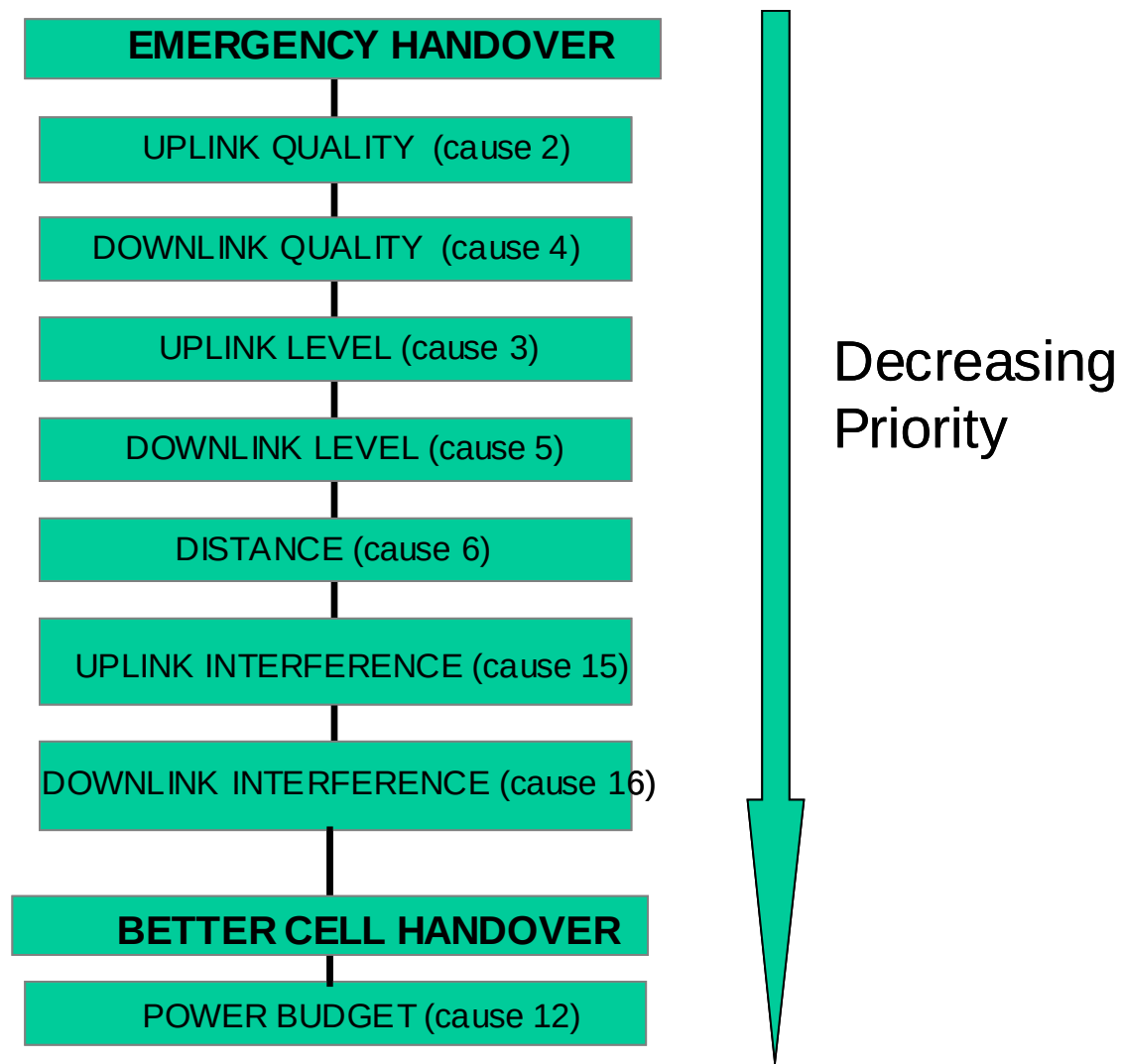
Handover/handoff

Consiste na operação de transferência de uma sessão para outra estação base. A qualidade da ligação entre a estação móvel e a estação base pode-se deteriorar quando o móvel move-se para longe da *BTS*, aproximando-se dos limites da célula. A uma certa distância da estação base a alteração da ligação rádio para outra estação base pode incrementar bastante a qualidade da ligação.

A decisão de iniciar o *handover*, e a escolha da célula destino, são baseadas num número de parâmetros, e várias razões podem resultar nesta decisão. De uma forma geral, os parâmetros envolvidos no processo de medição, serão os assinalados na próxima figura.



Os níveis de prioridade, associados a cada um dos parâmetros envolvidos, estão organizados da forma:



Motivos para realização de Handover

Normalmente o objectivo do handover é evitar a perda duma chamada estação móvel em progresso quando a estação móvel deixa a área de cobertura rádio da célula estação móvel em causa. A este tipo de handover é costume chamar de **Handover de Resgate**, onde existe uma enorme probabilidade de a chamada cair se não se mudar de célula. Uma forma extrema de

handover de resgate é o restabelecimento de chamadas, o qual é uma tentativa de salvar a ligação depois perda efectiva de comunicação com a célula que servia a estação móvel.

Noutros casos, pode ter interesse mudar a célula de serviço da estação móvel mesmo que a qualidade da transmissão seja aceitável. Isto pode acontecer quando o nível de interferência global melhorará significativamente se a estação móvel mudar para outra célula.

Como existe normalmente uma célula em melhores condições do ponto de vista da interferência. Esta consideração é especialmente verdadeira quando está a ser utilizado controlo de potência, pois a célula correspondente à perda de percurso mínima, minimiza também a potência de transmissão da estação móvel, o que vai reduzir o nível de interferência. O handover com o objectivo de optimizar o nível de interferência é chamado de **Handover de Limitação**.

O terceiro tipo de handover é chamado como **Handover de Tráfego**, estando associado a situações em que uma célula esteja congestionada e as células vizinhas não. Tal uma situação acontece tipicamente quando existe uma solicitação de tráfego anormalmente elevada em determinada área geográfica. Devido à existência de sobreposição de cobertura das células vizinhas, a transferência de algumas chamadas de uma célula para outra menos congestionada pode melhorar temporariamente a situação do tráfego. Este tipo de handover entra em conflito com o tipo

de handover anterior. Os handovers de tráfego vão necessariamente interferir com o planeamento de células e aumentar o nível de interferência na área circundante.

Crítérios no Handover

Dependendo do objectivo do handover, o critério a ter em conta difere, mas tem que ter sempre informação sobre o que aconteceria com e sem handover, de acordo com a célula destino.

O principal critério para o **handover de resgate** é a qualidade de transmissão na ligação que está a decorrer, tanto em downlink como em uplink. A melhor informação deve ser a avaliação da qualidade da transmissão. Com uma transmissão digital, o ritmo de erros da transmissão é também um bom indicador da qualidade, assim como as perdas no percurso de propagação. Outra parte da informação é o atraso na propagação. A transmissão na interface UM do GSM não suporta um grande atraso na propagação, e a ligação pode ser cortada se este atraso se torna demasiado grande. A MS e BS medem regularmente a qualidade do nível de transmissão e recepção. A MS transmite estas medidas para a BTS, a um ritmo de duas vezes por segundo.

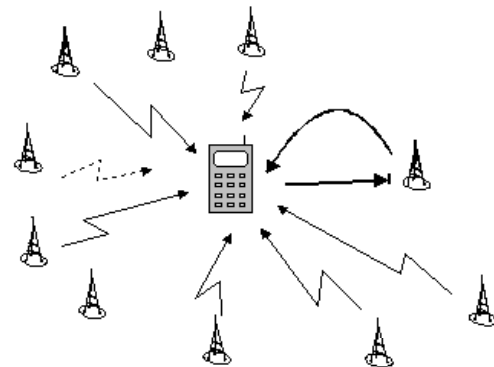
O critério a aplicar no **handover de limitação** é a qualidade de transmissão no downlink e no uplink correspondente a cada célula vizinha, da célula onde a estação móvel está ligada. Já

que esta informação é bastante difícil de obter, o processo de handover tem que funcionar só com a perda de percurso entre a estação móvel e um número de células vizinhas.

Na realidade, só os valores de downlink são medidos, pela estação móvel, e assume-se que a perda de percurso é equivalente em ambas as direcções.

Mecanismos de medição envolvidos:

- MS ligada a BS via TCH ou SDCCH
- A MS recebe da BS servidora a lista das células vizinhas em que tem de monitorizar a potência.
- Em cada trama SACCH a MS reporta as medições efectuadas à estação base. Devem constar os elementos:
 - Níveis de potência das 6 melhores células vizinhas
 - QoS do Downlink e QoS da célula onde está posicionada



O processo de decisão para os **handovers de tráfego** necessita de informação do tráfego de cada BTS, e esta informação é conhecida pelos MSC's e BSC's. Os **handovers de tráfego** diferem um pouco dos **handovers de resgate** e de limitação, porque as razões de tráfego ditam o número de estações móveis que têm que ser transferidas, duma determinada célula, mas não identificam quais. A selecção começa por saber quais as MS's que estão perto de serem transferidas por outras razões. Ou seja, o **handover de tráfego** recorre aos critérios anteriores e às respectivas medidas. Duma forma sumária, a lista dos

parâmetros a ter em conta no processo de decisão do handover é dada em seguida:

- alguns dados constantes, como a máxima potência de transmissão:
 - da estação móvel;
 - da BTS que serve a célula;
 - das BTS's das células vizinhas;
- medidas em tempo real realizadas pela estação móvel:
 - a qualidade da transmissão em downlink (taxa de erros);
 - o nível de recepção em downlink do canal corrente;
 - os níveis de recepção em downlink das células vizinhas;
- medidas em tempo real realizadas pela BTS:
 - a qualidade da transmissão em uplink (taxa de erros);
 - o nível de recepção em uplink do canal corrente;
 - o avanço temporal;
- considerações de tráfego, capacidades das células , ...

Procedimentos envolvidos no handover

Como foi referido atrás, o handover pode ser executado por diferentes razões, mas em todos os casos, a decisão de tentar o handover de uma determinada estação móvel é tomada pelo BSC. Uma vez tomada a decisão, e uma vez que foi escolhida uma nova célula (ou uma lista de candidatas), a transferência

tem que ser coordenada entre a estação móvel e as máquinas que gerem a antiga célula (BTS-old) e a nova célula (BTS-new).

O procedimento de handover pode ser de diversas espécies, de acordo com os dois principais critérios. O primeiro critério está relacionado com o mecanismo do avanço temporal, e interfere apenas com a parte de “entrada” do procedimento da interface rádio entre a estação móvel e a BTS-new. Podem-se distinguir dois casos:

- a estação móvel é capaz de calcular o novo avanço temporal (a ser utilizado com a BTS-new), porque as células, antiga e nova, estão sincronizadas, tendo neste caso o handover **síncrono**;
- o avanço temporal tem que ser inicializado tanto na estação móvel como na BTS-new durante o procedimento de handover, sendo este caso chamado de handover **assíncrono**.

O segundo critério diz respeito à localização do ponto de comutação da infra-estrutura. Esta localização interfere fortemente com os procedimentos utilizados entre as entidades da infra-estrutura.

Quer seja síncrono ou assíncrono, seja inter ou intra-MSC, e seja inter ou intra-BSC, a execução do handover é composta principalmente por duas fases:

- numa primeira fase, a BSC-old realiza uma série de eventos com o objectivo de estabelecer o futuro percurso rádio. Uma vez que isto esteja feito, esta fase termina com o envio dum comando de handover para a estação móvel;
- numa segunda fase, a estação móvel acede ao novo canal. Este acesso provoca a comutação dos percursos na infra-estrutura, e a libertação do antigo percurso.

Uma vez que a decisão de efectuar um handover foi tomada pela BSC-old, isto tem que ser indicado ao ponto de comutação. Este último tem que então estabelecer os recursos terrestres, se necessário, até à BSC-new, sinalizar com esta para atribuir um recurso rádio e fornecer a todas máquinas interferentes no processo toda a informação necessária para o handover e a futura gestão da ligação. Esta informação inclui:

- o modo de transmissão, utilizado para escolher e configurar o percurso rádio numa forma apropriada, incluindo o novo canal rádio;
- O modo de encriptação;
- a identidade da célula origem, utilizada para determinar se o handover pode ser efectuado numa forma síncrona ou assíncrona;

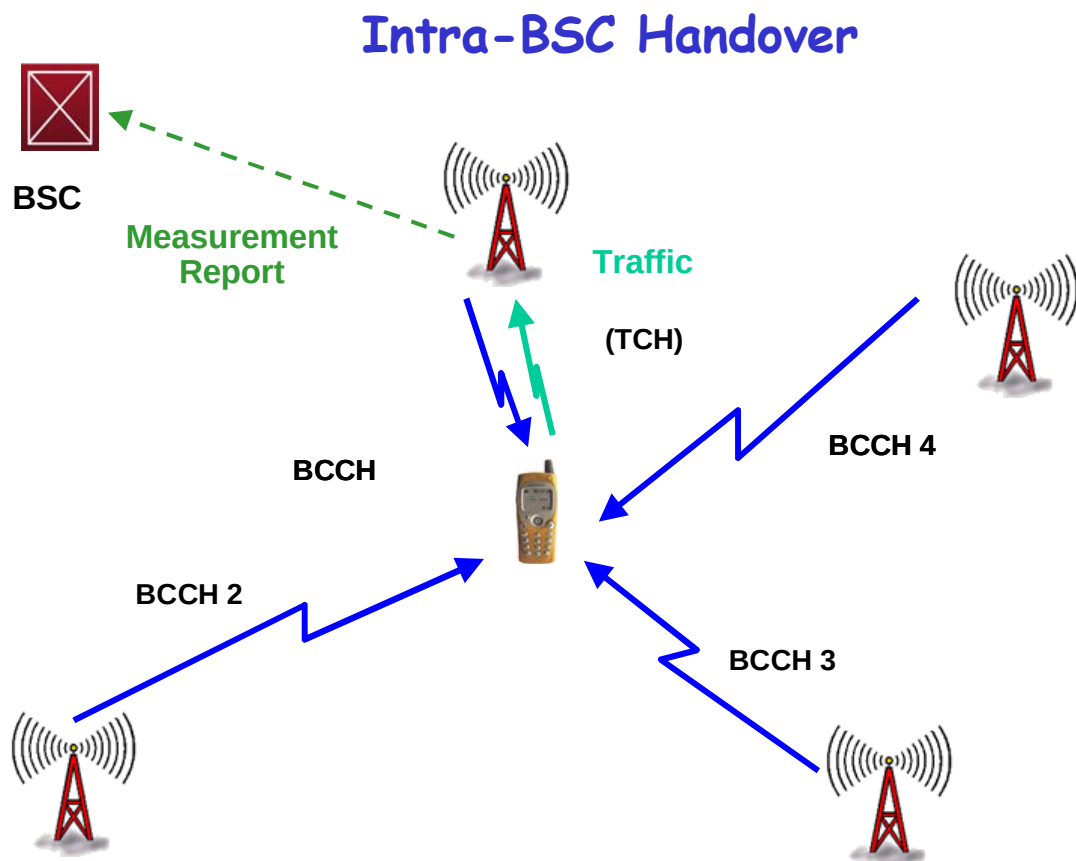
- a classe da estação móvel, utilizada para a futura gestão da ligação.

A estação móvel não sabe nada do que se passa nos processos da infra-estrutura e decisões até receber a mensagem de handover. Esta mensagem contém toda a informação que caracteriza a transmissão no novo canal (excepto o modo de encriptação que se assume igual), e os dados necessários para o acesso. Em particular, esta mensagem indica à estação móvel se o procedimento de handover a seguir deve ser síncrono ou assíncrono. Em ambos os casos, graças à pré-sincronização, a estação móvel é capaz de se sincronizar rapidamente no novo canal e começar a recepção imediatamente.

No caso de um handover síncrono, a estação móvel envia primeiro alguns bursts de acesso, e então começa a transmissão normal, utilizando o avanço temporal calculado. Se o handover é assíncrono, a estação móvel continua a enviar bursts de acesso até receber uma resposta da nova BTS, na qual é especificado o avanço temporal a utilizar. Só então é que começa a transmissão normal. Este é o único caso onde os bursts de acesso são utilizados num canal dedicado. A razão para a utilização deste tipo de burst é o desconhecimento, por parte do móvel, do avanço temporal adequado ao novo canal.

Procedimentos para realização do *handover*

Particularizando o processo para as diferentes situações, o primeiro caso consiste no *handover* mais simples, ou seja, ambas as células são controladas pelo mesmo *BSC*.



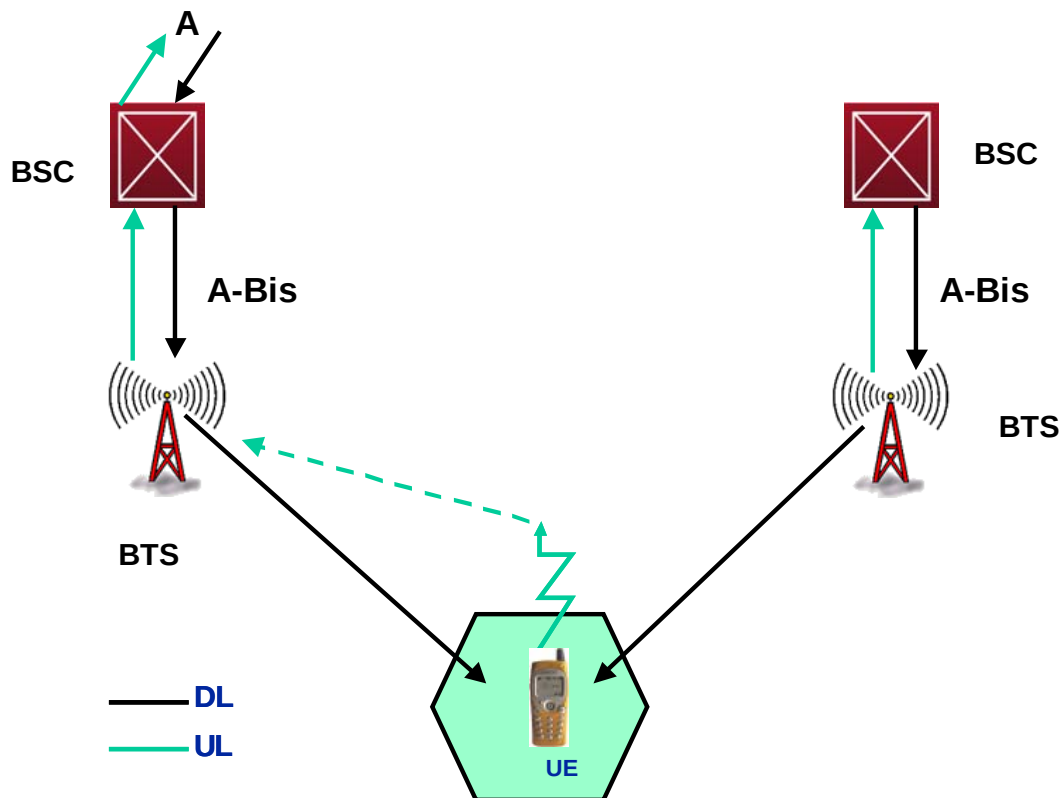
Quando se desenrola um *handover* deste tipo, o MSC não é envolvido na troca de sinalização. Contudo O MSC será informado assim que termine o *handover*, de forma a actualizar o registo do assinante no VLR. Se as células envolvidas no processo não pertencerem à mesma área de localização, então será necessário efectuar um procedimento de actualização de localização após o *handover*.

A sequência de procedimentos será então:

1. Baseado nos critérios referidos anteriormente, o BSC decide efectuar um handover entre as duas células. O BSC informa a BTS que esta deve activar um TCH, com as mesmas características do canal anterior.
2. O BSC envia então a mensagem de handover para o móvel. Esta mensagem contém informação acerca da frequência e escalonamento temporal do novo canal, assim como a potência a utilizar inicialmente. Esta informação é enviada no canal de sinalização associado rápido (FACCH), activado para o efeito.
3. Uma vez sintonizada a nova frequência e realizada a sincronização, a MS procede ao envio de burts de acesso via canal FACCH, para realizar o handover.
4. A nova BTS ao receber os burts enviados pela MS responde enviando, no canal FACCH, a informação de Timing Advance.
5. A MS responde enviando a confirmação de realização de handover ao BSC, através da nova BTS.
6. O BSC liberta o canal TCH na BS antiga.

O segundo caso corresponde a um handover entre células controladas por BSC's distintos, conforme se encontra exemplificado no esquema apresentado na próxima figura.

Inter-BSC Handover



Neste tipo de handover, uma vez que há alteração do posicionamento da MS na rede e alteração do percurso terrestre associado ao canal de tráfego é alterado, há intervenção do MSC e da base de dados VLR. Os passos necessários à execução do handover são agora :

1. O BSC actual envia uma mensagem de pedido de handover contendo a identificação da nova célula ao MSC.
2. O MSC, com base no identificador da nova célula, envia ao novo BSC um pedido de handover.

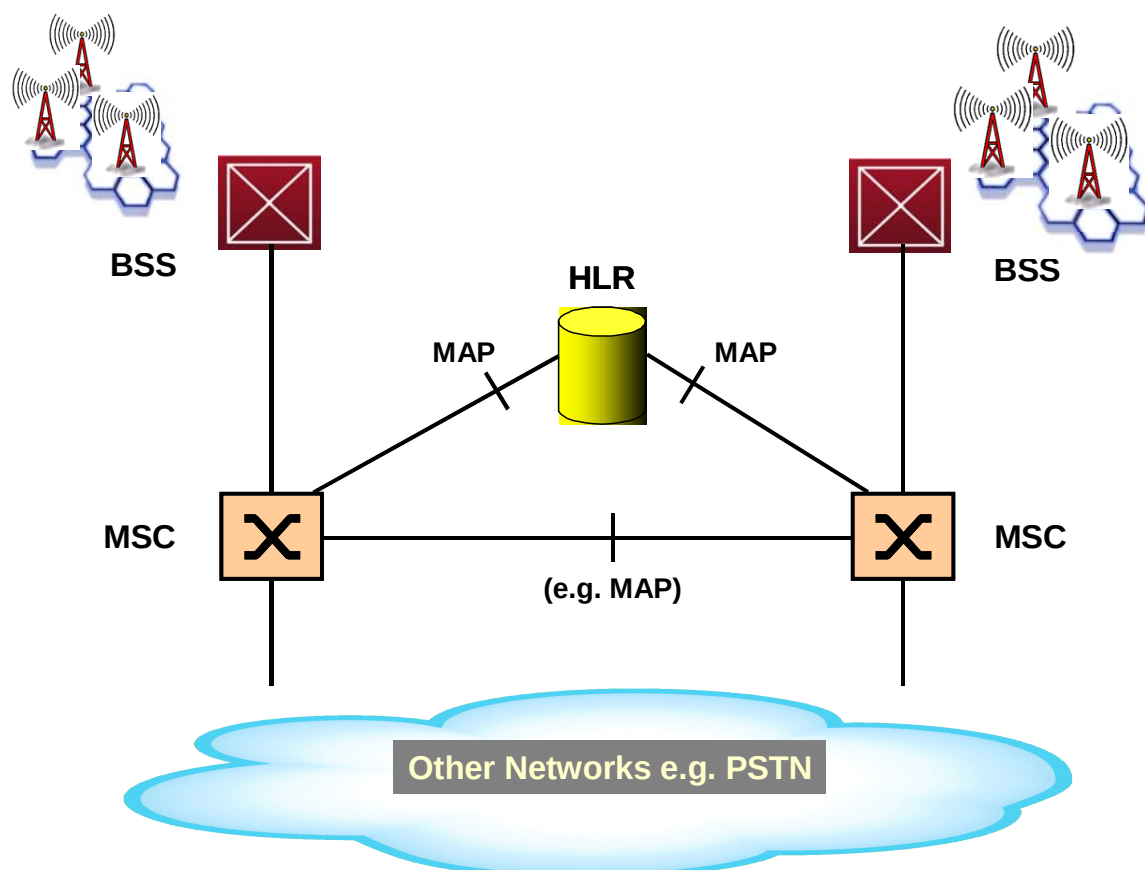
3. O novo BSC verifica as condições de tráfego a que está sujeito, ou seja, a existência de canais livres. Em caso afirmativo comunica à nova BTS que active um canal para a MS.
4. O BSC envia através do MSC e do antigo BSC e BTS uma mensagem de handover à MS. A mensagem contém informação respeitante às características do canal agora atribuído.
5. A MS sintoniza com a nova portadora e após a sincronização começa a transmitir bursts de acesso via canal FACCH para execução do handover.
6. Após a recepção dos bursts de acesso a nova BTS responde, enviando através do canal FACCH informação de timing advance.
7. A MS envia confirmação de realização de handover através da nova BTS e BSC.
8. O MSC informa o BSC anterior, do sucesso do handover e comunica a este para libertar os canais de tráfego atribuídos à MS.
9. O BSC anterior notifica a BTS anterior para libertar o canal de tráfego.

O último tipo de handover, consiste num handover entre células pertencentes a áreas de serviço associadas a MSC's distintos e

consequentemente BSC's distintos. É realizado ao nível de operador, com intervenção das bases de dados VLR e HLR. Neste caso, os passos a realizar para execução do handover são:

1. O BSC de serviço envia um pedido de handover para o MSC, contendo a identificação da célula destino.
2. O MSC verifica se a célula pertence a outro MSC. Em caso afirmativo, entra em comunicação com o novo MSC.
3. O novo MSC atribui um número ao handover para efeitos de reencaminhamento da chamada, sendo enviado um pedido de handover ao novo BSC.
4. O novo BSC manda activar um canal de tráfego na BTS da célula destino.
5. O novo MSC recebe informação respeitante ao novo canal e reenvia-a juntamente com o número de handover, para o MSC original.
6. É estabelecida uma ligação de transporte de tráfego entre os dois MSC's, podendo haver intervenção da PTSN no estabelecimento desta ligação.
7. O MSC da célula original envia, através do BSC e BTS associados, a mensagem de handover à MS.
8. A MS sintoniza com a nova portadora e após a sincronização começa a transmitir bursts de acesso via canal FACCH para execução do handover.

9. Após a recepção dos bursts de acesso a nova BTS responde, enviando através do canal FACCH informação de timing advance.
10. A MS recebe a resposta e envia mensagem de confirmação de handover ao MSC anterior através do novo BSC.
11. O MSC, associado à primeira célula, estabelece o circuito para que a chamada possa ser encaminhada para a nova célula e manda o BSC libertar o canal atribuído à MS que realizou o handover.

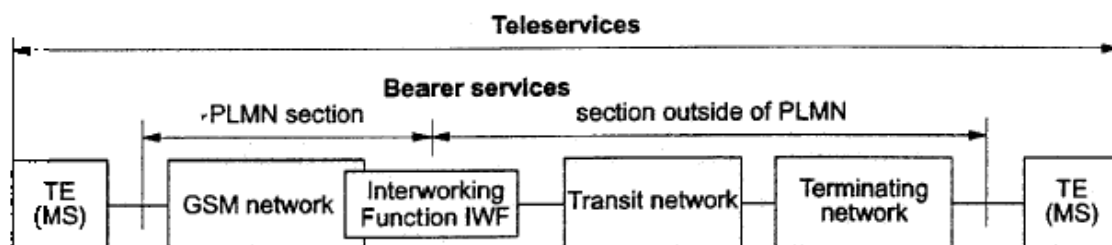


Serviços

Os serviços previstos no GSM foram inspirados nos serviços oferecidos pelo RDIS, sendo classificados da mesma forma que o RDIS em três categorias:

- Bearer services or transport services
- Teleservices
- Supplementary services

Um serviço de transporte consiste num serviço de transporte de dados entre terminais situados nos pontos de referência apresentados abaixo.



Os serviços de transporte oferecidos, consistem transporte de dados nos modos síncrono ou assíncrono em comutação de circuitos ou comutação de pacotes, a taxas compreendidas entre 300 a 9600 bps para dados e 13 kbps par voz. Também são fornecidos serviços de comutação de pacotes, em acesso assíncrono ou acesso síncrono directo.

Os serviços de transporte são oferecidos em dois modos distintos:

- **Modo Transparente T** – Neste modo existe uma ligação baseada em comutação de circuitos entre o TE (Terminal Equipment), isto é a MS e o MSC, a um ritmo constante, com atrasos de transporte constantes e controle de erros do tipo FEC (Forward Error Correction). Notar que erros residuais só dependem das condições do canal.
- **Modo não transparente NT** – Neste modo, é usado um protocolo do nível lógico que fornece uma protecção adicional contra erros (ARQ – Automatic Retransmission reQuest), em função das condições verificadas no canal RLP (Radio Link Protocol) .

Este modo é particularmente útil e situações de fading severo ou fading com variabilidade muito rápida. Estas podem conduzir a situações de má recepção onde a retransmissão dos dados é necessária.

Na tabela apresentada a seguir é apresentada a lista de serviços de transporte (Bearer Services) existentes na norma GSM.

Serviço	Tipo	Nº serviço	Ritmo bps	modo	transmissão
---------	------	---------------	--------------	------	-------------

dados	Asynch	21	300	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		22	1200	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		23	1200/75	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		24	2400	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		25	4800	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		26	9600	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
dados	Synch	31	1200	T	UDI ou 3.1 kHz
		32	2400	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		33	4800	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
		34	9600	T ou NT	UDI ou 3.1 kHz
PAD	Asynch	41	300	T ou NT	UDI
		42	1200	T ou NT	UDI
		43	1200/75	T ou NT	UDI
		44	2400	T ou NT	UDI
		45	4800	T ou NT	UDI
		46	9600	T ou NT	UDI
Packet	Synch	51	2400	NT	UDI
		52	4800	NT	UDI
		53	9600	NT	UDI
Voz/dados		61	13000 ou 9600		
Voz seguida de dados		81	13000 ou 9600		

T- modo transparente; NT- modo não transparente; UDI –unrestricted digital information; PAD – Packet assembler/disassembler.

Notar que nas diversas fases de implementação do GSM, não estiveram logo disponíveis a totalidade dos serviços, tendo sido implementados na fase 1, o que consta na tabela apresentada a seguir.

Category	Abbreviation	Service	Class
Call offering	CFU	Call forwarding unconditional	E1
	CFB	Call forwarding on mobile subscriber busy	E1
	CFNRy	Call forwarding on no reply	E1
	CFNRc	Call forwarding on mobile subscriber not reachable	E1
Call restriction	BAOC	Barring of all outgoing calls	E1
	BOIC	Barring of outgoing international calls	E1
	BAIC	Barring of all incoming calls	E1
	BOIC-exHC	Barring of outgoing international calls except calls to home PLMN	A
	BIC-roam	Barring of incoming calls when roaming outside the home PLMN	A

Tabela de serviços da fase 1

Na fase 2 foram implementados serviços adicionais relativos ao serviço de voz e o primeiro serviço de dados a 9.6 kbps.

Teleserviços

Estes serviços utilizam os serviços de transporte, sendo definidos acima destes.

Categoria	Nº serviço	Serviço	Classe
Voz	11	Telefone	E1
	12	Chamada de emergência	E1
Fax	61	Voz e fax de grupo 3 alternados	E1
	62	Fax de grupo 3	A
SMS	21	Mensagens curtas terminadas na MS, ponto a ponto	-
	22	Mensagens curtas iniciadas na MS, ponto a ponto	-
	23	Difusão de mensagens em célula	E3
Acesso MHS	31	Acesso a sistemas de manuseamento de mensagens	A
			-
Videotexto	41	Videotexto no perfil 1	A
	42	Videotexto no perfil 2	A
	43	Videotexto no perfil 3	A
Teletexto	51	teletexto	A

Tabela com teleserviços

E1-fase 1; E2- fase 2; E3 –fase 3

E –Serviço essencial; A-serviço adicional

Voz – dois serviços existentes:

- Serviço de voz normal (TS11)

- Serviço de voz em emergência (TS12) (exemplo 112)

Características:

Comunicação bidireccional ponto a ponto em full-duplex

Fax – Associado à segunda fase de implementação, podendo ser realizado em modo transparente ou não transparente.

Características:

- Codificação e transmissão de acordo com norma T30 (para fax 3º grupo)
- TS61 partilha o mesmo canal de transporte que o serviço de voz
- A existência de vários MSISDN, permite associar a um utilizador vários serviços, um por número, permite ter um associado ao serviço de fax.

SMS (Short Message Service)

Serviço que permite o envio e recepção de mensagens em modo texto, até 160 caracteres.

Associado à fase E3 de implementação.

Três subcategorias:

- TS21 – serviço que possibilita a recepção de mensagens numa MS

- TS22 - serviço que possibilita o envio de mensagens a partir de uma MS
- TS23 ou Cell broadcast Service – permite a difusão de uma mensagem em áreas geográficas delimitadas. As mensagens só podem ser recebidas pelas MS se estiverem no modo standby, ao contrário do TS22. As mensagens estão limitadas a 93 caracteres e podem ser classificadas por categorias. (serviços de warnings)

Características:

- Transmissão em comutação de pacotes
- Exige confirmação de recepção de mensagem, caso contrário é retransmitida
- Permite difusão de mensagens para outras redes, via fax, mail ou voz (serviço implementado pela Vodafone)

Que para a fase 1 e fase 2 foram definidos em conformidade com a norma RDIS todo um conjunto de serviços suplementares, conforme apresentado nas próximas tabelas.

Category	Abbreviation	Service	Class
Call offering	CFU	Call forwarding unconditional	E1
	CFB	Call forwarding on mobile-subscriber busy	E1
	CFNRy	Call forwarding on no reply	E1
	CFNRc	Call forwarding on mobile-subscriber not reachable	E1
Call restriction	BAOC	Barring of all outgoing calls	E1
	BOIC	Barring of outgoing international calls	E1
	BAIC	Barring of all incoming calls	E1
	BOIC-exHC	Barring of outgoing international calls except calls to home PLMN	A
	BIC-roam	Barring of incoming calls when roaming outside the home PLMN	A

Serviços suplementares fase 1

Category	Abbreviation	Service	Class
Number identification	CLIP	Calling line identification presentation	A
	CLIR	Calling line identification restriction	A
	COLP	Connected line identification presentation	A
	COLR	Connected line identification restriction	A
	MCI	Malicious call identification	A
Call offering	CT	Call transfer	A
	MAH	Mobile access hunting	A
Community of interest	CUG	Closed user group	A
Charging	AoC	Advice of charge	E2
	FPH	Freephone service	A
	REVC	Reverse charging	A
Additional information transfer	UUS	User-to-user signaling	A
Call completion	CW	Call waiting	E3
	HOLD	Call hold	E2
	CCBS	Completion of call to busy subscriber	A
Multi-party	3PTY	Three-party service	E2
	CONF	Conference calling	E3

Serviços suplementares fase 2

Foi contemplada uma fase 2+, na qual se destaca o GPRS (General Packet Radio Service) , que permite ritmos de transmissão de 64 kbps (anunciado, mas normalmente situam-se abaixo deste valor).

Nível físico

Designado como Air Interface do GSM, cobre diversos aspectos como:

Banda ocupada

Potência de transmissão

Técnicas de acesso e transmissão

Tipo de canais

Modulação

Codificação de canal

Controlo de potência

Sincronismo

Equalizador

A ocupação espectral, potências de transmissão da BS e MS já foram abordadas anteriormente, sendo agora analisados os restantes aspectos frisados na lista anterior.

Técnicas de transmissão

No GSM a partilha dos recursos rádio é realizada a nível de frequência e de tempo, utilizando para esse efeito FDMA (Frequency Division Multiple Access) e TDMA (Time Division Multiple Access). A primeira permite dividir o espectro disponível em vários canais, estando cada um associado a uma portadora. A segunda permite dividir o canal de 200 KHz associado a cada portadora em oito intervalos de tempo (Time Slots), sendo cada um deles atribuído a um utilizador distinto. O conjunto de oito Time Slots forma a trama TDMA e permite que oito utilizadores partilhem a mesma portadora e trama. Cada time slot, equivalente a um burst da MS, tem uma duração de 577 μ s, sendo consequentemente a duração da trama igual a 4.615 ms. Note-se que o TDMA corresponde a uma redução da banda disponível em cada canal de tráfego para 25 KHz, a qual é equivalente à banda disponível para cada canal nos sistemas analógicos.

Como o período de transmissão da MS corresponde à duração da trama, tem-se na MS uma frequência de transmissão, igual a 216.6 Hz. Esta frequência encontra-se na gama audível, pelo que interfere com sistemas Hi-fi (é usual ouvir em diversos sistemas sinal a esta frequência proveniente da interferência originada na MS. Também podem surgir interferências com outros dispositivos electrónicos como Pacemakers, sistema de injeção, velas dos carros e sistemas de travagem, nomeadamente ABS e televisores. Deste facto advêm as recomendações de

construtores como Mercedes, BMW, AUDI de se evitar a utilização de MS sem a instalação de uma antena exterior (instalação de kit mãos livres). Como a MS transita de portadora cada vez que transmite um burst, esta frequência coincide com a frequência à qual é realizado o Frequency Hopping no GSM.

Uma vantagem, inerente à técnica TDMA, reside na possibilidade de se efectuar a recepção e transmissão em instantes distintos. Desta forma não é necessário à MS operar em modo full duplex o que permite:

- Aumentar duração da bateria
- Minimizar custos das MS's
- Desnecessário duplexer no receptor
- Transmissão e recepção separadas por três time slots.
- Transmissão da MS atrasada em três time slots face à transmissão da BTS

Como uma MS só pode transmitir durante o time slot que se encontra atribuído, transmitirá necessariamente impulsos ao longo do tempo. Assim, o andar de emissão Rf está sempre a transitar entre os estados on/off. Isto permite poupar potência, mas introduz atrasos já que o tempo que uma MS leva a transitar entre estados é de cerca de 28 μ s. Assim, embora a duração do time slot atribuído a cada utilizador seja de 577 μ s, a duração

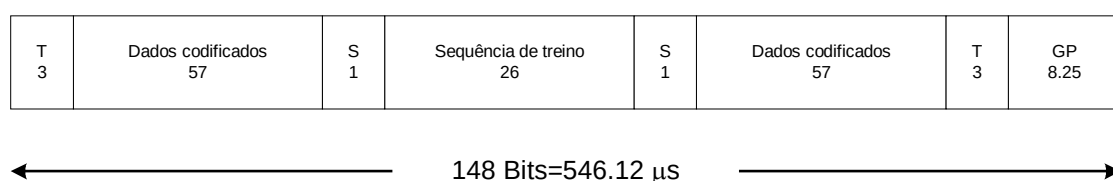
útil é de 542 μs , sendo os bits, associados à diferença entre os dois intervalos, reservados para o tempo de comutação on/off.

Burst de um time slot

Existem vários tipos de burts, tendo cada um com funcionalidades distintas. Podem-se destacar os seguintes tipos:

- Burst normal
- Burst de acesso aleatório
- Burst para correcção de frequência
- Burst de sincronização
- Burst dummy

O primeiro tipo destina-se à transmissão de dados nos canais de tráfego (excluindo RACH, SCH e FCCH), por parte da BTS ou MS em cada time slot e tem a estrutura apresentada na próxima figura:



Estrutura de burst normal

Da figura anterior destacam-se os seguintes elementos:

- Bits de cauda ou Tail bits (T) – formados por um conjunto de três bits a zero no início e fim de cada burst, que cobrem o intervalo de tempo necessário à

transição entre estado off e on. Também necessários ao processo de desmodulação.

- Dados codificados ou Coded data – Formado por dois conjuntos de 57 bits, podendo transmitir dados de utilizador ou sinalização e controlo. Note-se que os bits já têm o overhead introduzido pelos códigos correctores de erros.
- Flags (S) – Servem para assinalar ao receptor o início de uma sequência de dados. Utilizados para diferenciar burst de sinalização de burst de dados, já que dados de sinalização e dados ocorrem em posições distintas nos bursts.
- Sequência de treino – Utilizada para efeitos de sincronização dos receptores com os burts e estimação do canal. Por meio desta sequência de treino, o receptor fica a conhecer a resposta impulsiva do canal, permitindo por meio de um equalizador compensar os efeitos do canal e regenerar os símbolos modulados.
- Período de guarda ou Guard Period (GP) – Este período tem uma duração fixa de 8.25 bits ou 30 μ s. Este intervalo de tempo coincide com o tempo médio da transição off/on. Como durante este intervalo de tempo as transmissões relativas a dois burst sucessivos se podem sobrepor, não são transmitidos

dados durante este intervalo, de forma a evitarem-se interferências entre as comunicações.

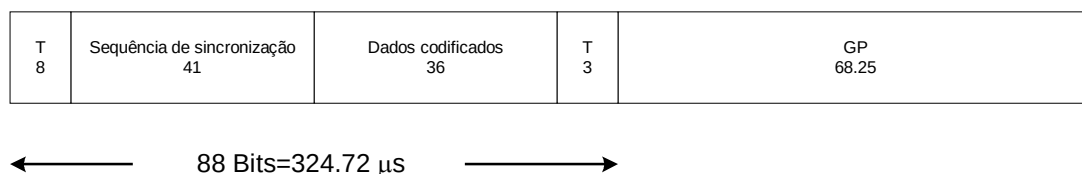
Quando estão presentes várias MS numa célula, estas não se encontram à mesma distância da estação base, o que acarreta tempos de propagação distintos. Consequentemente, os atrasos e atenuações de sinal diferem entre si para cada um dos terminais móveis presentes.

Nesta situação há que garantir o sincronismo na transmissão dos diversos burts presentes numa trama, bem como a correcta recepção na BTS, mediante a aplicação de técnicas como avanço no tempo e controlo de potência. A primeira, consiste em solicitar o envio dos burts por parte das MS mais distantes primeiro que as MS mais próximas, de forma a compensar os atrasos devido à maior distância percorrida pelo sinal. Desta forma consegue-se evitar a sobreposição dos diversos burts associados a time slots adjacentes na trama TDMA de dados.

A segunda técnica destina-se a compensar a dependência da atenuação face à distância percorrida. Nesta técnica a BTS, solicita às MS mais distantes o aumento da potência de transmissão, de modo a garantir que os diversos bursts recebidos tenham aproximadamente a mesma potência. Também quando se considera o downlink, a BTS ajusta a potência do burst associado a cada time slot, consoante a distância à qual a MS se

encontra da BTS. Normalmente estes ajustes são realizados por meio de incrementos ou decrementos de 2 dB.

O segundo tipo de burst é usado no processo de acesso aleatório destina-se sincronizar MS e BTS, sendo enviado quando a Ms pretende ter acesso ao sistema. Este burst é mais curto que o anterior, com um tempo de guarda maior que tem em atenção a situação mais desfavorável em termos de tempo de propagação do sinal dentro de uma célula. Sendo mais curto, garante-se que não existe risco de sobreposição entre burts adjacentes. A estrutura é a que se encontra representada a seguir

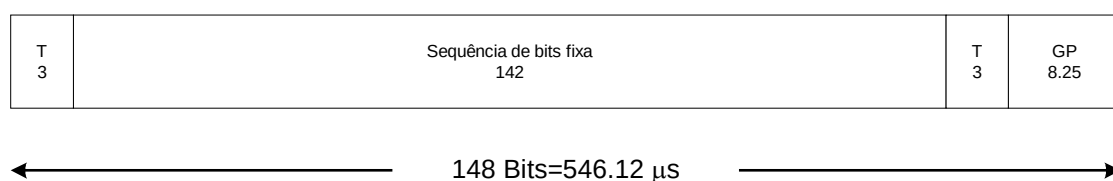


Estrutura de burst de acesso

Os bits de cauda T têm a mesma finalidade que os bits do mesmo tipo presentes no burst normal. Agora o número de bits associados à sequência de treino de sincronização é maior, já que o equalizador necessita de mais informação para realizar o sincronismo. O GP também vem incrementado para uma duração de 68.25 bits, o que corresponde a um tempo de propagação de 252 μ s. O valor de GP está directamente

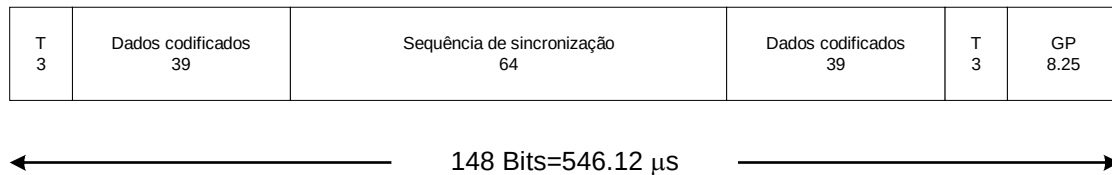
relacionado com o raio máximo da célula, uma vez que o tempo de propagação corresponde ao percurso formado pelo downlink e uplink, limitando o raio máximo a 37.75 km.

O terceiro tipo de burst é utilizado para efectuar o sincronismo da frequência do MS com a frequência do sistema. A estação transmite periodicamente, durante o tempo de duração de um burst um sinal, um tom puro com o mesmo período que a duração do burst (equivalente a uma portadora não modulada ou tom puro). Notar que se trata de um burst longo, de forma a permitir que as MS's desmodulem o burst de sincronização. O número de vezes que a MS tem de sincronizar o seu relógio interno com a frequência do tom recebido, depende exclusivamente da estabilidade do oscilador local. O canal FCCH é formado por sucessivas repetições deste tipo de bursts.



Estrutura do burst de sincronização na frequência

Para sincronização temporal, tem-se um burst com a estrutura representada abaixo



Estrutura do burst de sincronização

A finalidade deste tipo de burst consiste em realizar sincronização no tempo através da sequência de sincronização e no envio de parâmetros adicionais em dados codificados como:

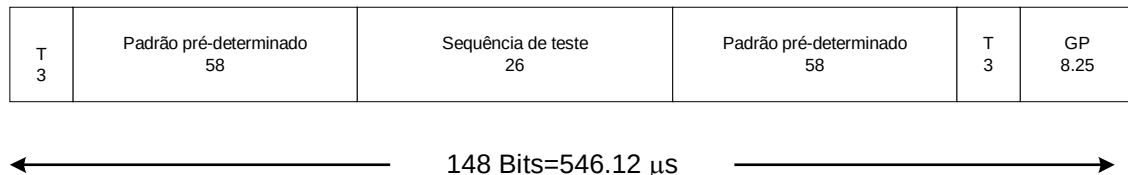
BSIC (Base Station Information Code)

BCC (Base Station Color Code)

NCC (National Color Code)

Este tipo de burst permite à MS verificar a identidade da BTS através do BSIC e detectar alterações de operador via BCC e NCC. Estes parâmetros são necessários à desmodulação e decodificação da informação enviada pela BTS. Note-se que o SCH é formado por repetições sucessivas deste tipo de burts.

O último tipo de burst, o Dummy Burst tem uma estrutura semelhante à do burst normal. É utilizado pela BTS e não contém informação. A sua estrutura é a que se encontra apresentada na próxima figura.



Estrutura do Dummy Burst

Canais

Utilizar um canal significa transmitir *bursts* em instantes específicos no tempo e frequência, ou seja *slot* específico. Geralmente os *slots* de um canal não são contíguos no tempo, tendo por isso um canal uma definição temporal que dá, para cada *time slot*, o número de *slots* que fazem parte do canal. Esta definição é cíclica mas varia de acordo com o tipo de canal.

Frequência de um canal define-se como sendo a frequência de cada *slot* pertencente ao canal. Existem canais de frequência fixa para os quais a frequência é a mesma para cada *slot*, e canais de frequência variável, *hopping*, cujos *slots* podem utilizar frequências diferentes.

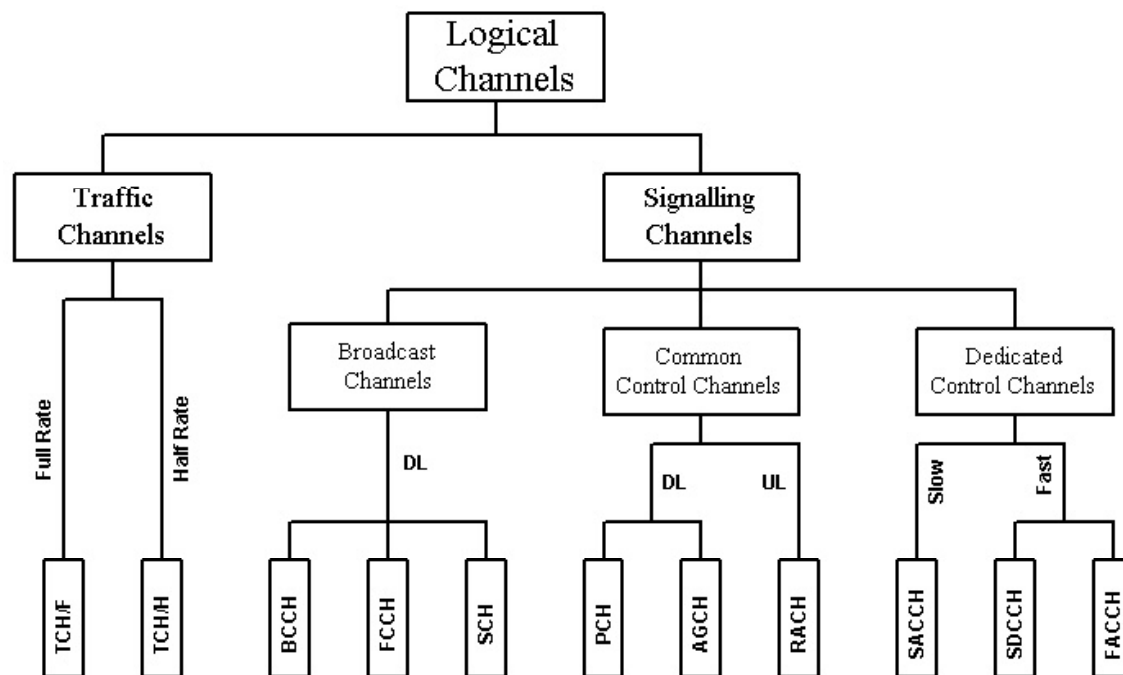
Para canais bidireccionais, por exemplo *TCH*, as duas direcções poderiam ser definidas de diversas formas, mas por razões de simplicidade, as definições do canal para as duas direcções são sempre relacionadas de uma maneira bastante simples: um espaço para a frequência fixa, *duplex separation*, de 45/75 MHz e um tempo de guarda, que depende do tipo de canal, que separa dois *slots* correspondentes de um dado canal.

Cada MS envia um ou mais *bursts* para a *BTS*, estando os *bursts* de todos os MS's sincronizados de forma a ocuparem *slots* não sobrepostos numa trama *TDMA*. Esta sincronização é realizada de modo a permitir que no momento da chegada só exista um *burst*, evitando assim colisão com *bursts* de outras fontes. Em resposta, a *BTS*, enviará também *bursts* para os móveis.

Com este sistema é conseguido um acesso múltiplo, ou seja uma multiplicidade de MS's que podem utilizar a rede simultaneamente, ocupando assim *time slots* na trama *TDMA*, ou seja **canais físicos**.

Canais Lógicos

O transporte de informação específica, como sinalização, dados de utilizadores é realizado com recurso a canais lógicos, isto é, um canal lógico consiste num canal que transporta um determinado tipo de informação sobre um canal físico. Existem diversos tipos de canais lógicos, com funcionalidades distintas e associados a operações/serviços distintos. Na figura apresentada a seguir, são apresentados os diversos tipos de canais lógicos existentes no GSM.



Tipos de canais lógicos

Como se pode observar, os canais lógicos dividem-se em duas categorias principais, canais de tráfego e canais de controle.

Canais de Tráfego

Os canais de tráfego são os canais lógicos que garantem o transporte de dados e voz do utilizador, no *uplink* e no *downlink*. Usados para transmissão de dados de utilizador. Neste tipo de canais não é transportada qualquer informação respeitante aos níveis 2 e 3. O transporte de informação pode ser baseado em comutação de circuitos ou comutação de pacotes. Estes canais podem ser divididos em dois subtipos, full Rate e Half Rate. No último caso os diversos canais resultantes podem ser atribuídos a utilizadores distintos. De acordo com a

terminologia do RDIS, os canais TCH/F são também chamados canais B e os canais TCH/H canais L.

Os ritmos associados são os que constam na tabela

Tipo de canal	Ritmo
Full rate TCH/F	22.8 Kbps
Half rate TCH/H	11.4 Kbps

Canais de controlo ou sinalização

Por analogia com o RDIS, são chamados canais D. Utilizados na interface ar para o envio de informação de controlo entre BTS e MS, por meio de comutação de pacotes.

Encontram-se divididos em três categorias:

- Canal de difusão ou Broadcast Channel (BCH)
- Canal de controlo comum (CCCH – Common Control Channel)
- Canal dedicado de controlo (DCCH –Dedicated Control channel)

Quando se liga uma MS, esta tem de procurar uma estação base adequada para que seja possível o respectivo registo e posterior escuta. Esta procura é realizada através de um varrimento em toda a banda de frequência, ou opcionalmente, utilizando uma lista de algumas portadoras atribuídas ao operador, lista esta que

se encontra guardada no SIM. Após o terminal móvel encontrar a portadora mais forte, em termos de potência de sinal, terá de verificar se esta é ou não uma portadora BCCH. Uma **portadora BCCH** consiste na frequência utilizada para transportar os canais de *Broadcast*. Deve existir uma por cada célula, sendo esta portadora normalmente denominada por C0.

BCH

São canais unidireccionais, usados pelo BSS para difundir informação às MS's presentes numa célula. Existem três tipos de canais dentro desta categoria:

- Broadcast Control Channel (BCCH) – Difundido na primeira frequência atribuída à célula. Usado para difundir informação referente à configuração da rede, informação de sincronização e identificadores associados ao registo (LAI, CI, BSIC). A última informação que a MS terá de receber de forma a iniciar *Roaming*, esperar chamadas ou efectuar chamadas, diz respeito à célula e ao sistema. Esta informação é difundida no canal BCCH, e entre outras informações inclui a Identificação da Área de Localização (LAI), a potência máxima de emissão permitida na célula e a lista das portadoras de *Broadcast* das células adjacentes, nas quais o móvel necessita de efectuar medições.

- Frequency Correction Channel (FCCH) - Usado para sincronismo de frequência. Neste canal são utilizados os burst de sincronização de frequência.
- Synchronization Channel (SCH) – Difunde informação de identificação da BTS e dados para sincronização de tramas (neste caso usa o burst de sincronismo). Depois de escutar o canal de correcção de frequência, a MS terá de sincronizar-se com a estrutura da trama TDMA desta célula e garantir também que a estação base escolhida pertence a uma rede GSM. Escutando o canal de sincronização – SCH o móvel não só recebe o número da trama TDMA, como também o Código de Identificação da estação base (BSIC). Este código apenas pode ser decodificado se a estação base pertencer à rede GSM.

Estes canais, só são visíveis pelo protocolo associado ao nível 1, embora transportem informação necessária à operação de rede (nível 3).

Realizadas as operações anteriores, a MS fica sintonizada com a estação base e sincronizada com a estrutura de tramas TDMA da célula. As estações base não estão sincronizadas entre si, pelo que cada vez que o móvel decidir mudar de célula terá de ler o respectivo FCCH e SCH.

A partir deste ponto a MS e BS podem utilizar os canais de controlo comum e de controlo dedicado, descritos a seguir.

CCCH –(Common Control Channel)

Trata-se de um canal de sinalização ponto multiponto, cobrindo operações como atribuição de canais dedicados e paging. Os canais de controlo comum são canais que estão disponíveis para serem utilizados por todos os móveis, sendo os recursos rádio utilizados por estes comuns a todos os móveis. Existem os seguintes subtipos:

- **Paging Channel (PCH)** – Faz parte do downlink do CCCH, sendo usado para descobrir MS's (operação de paging). Periodicamente o móvel escuta o canal de *paging* (PCH), para verificar se o sistema quer entrar em contacto com o móvel. A razão deste contacto poderá residir numa chamada para o terminal móvel, ou simplesmente numa mensagem curta para o terminal móvel. A informação enviada no PCH é uma mensagem de *paging* que inclui o número de identificação do móvel (IMSI) ou um número temporário (TMSI). O PCH é utilizado em *downlink* ponto a ponto.
- **Random Access Channel (RACH)** – Só existe no uplink de CCCH. Serve para os MS's solicitarem um canal de sinalização dedicado (SDCCH). O acesso é realizado com base no algoritmo Slotted Aloha. Como consequência de

uma mensagem de *paging*, ou simplesmente porque o utilizador deseja efectuar uma chamada, o móvel terá de entrar em contacto com o sistema. Para isso o móvel terá de pedir um canal de sinalização através do canal de acesso aleatório (RACH). É utilizado em *uplink* ponto a ponto.

- Access Grant Channel (AGCH)– Faz parte do Downlink do CCCH e é usado para atribuição de um SDCCH ou um TCH a uma MS. É usado na resposta ao pedido efectuado no RACH, o sistema terá de atribuir um canal de sinalização para alguma troca de informação entre o móvel e o sistema, o SDCCH. Esta atribuição é realizada através do canal de acesso atribuído (AGCH). É utilizado em *downlink* ponto a ponto.
- Notification Channel (NCH) – Utilizado para notificar a MS sobre a existência de chamadas.

DCCH – (Dedicated Control Channel)

Trata-se de um canal de sinalização bidireccional com ligações ponto a ponto. Estes canais são atribuídos a uma MS em particular, sendo os recursos rádio independentes entre os diversos canais. Os subtipos existentes resultam da associação

de um ACCH (Associated Control Channel) com um TCH ou SDCCH. Os subtipos são:

- Stand alone and Dedicated Control Channel (SDCCH) – Usado para sinalização entre BSS e MS quando não existe conexão activa. É solicitado pela MS via RACH e atribuído pela BSS via AGCH. Uma vez completa a troca de sinalização pode ser atribuído a outro MS. Poderá ser utilizado também para a transmissão de mensagens curtas em modo de espera. É através deste canal que é realizada a autenticação bem como a atribuição de canal de tráfego, sendo enviada informação relativa à frequência e *time slot* que definem o canal. É utilizado em *up/downlink* ponto a ponto. (Ver os exemplos de actualização de localização e estabelecimento de chamada).
- Slow Associated Control Channel (SACCH) – Transporta informação necessária à optimização da interface rádio. Assim informação respeitante a sincronização, controlo de potência e estimação de canal, são enviados por este canal. O envio de informação respeitante ao canal por parte da MS, realiza-se quando não existe informação de sinalização a enviar. É associado a um *TCH* ou a um *SDCCH*, e trata-se de um canal de dados contínuo transportando informação de sinalização, tal como relatórios de medidas do nível de intensidade do sinal

recebido na célula onde está presente e as suas adjacentes. Em *downlink* o móvel recebe informação respeitante ao avanço temporal e controle de potência. É utilizado em *up/downlink* ponto a ponto.

- Fast Associated Control Channel (FACCH) – Sempre associado a um TCH, e requer a atribuição de largura de banda adicional. Isto significa que se por acaso durante a transmissão de voz for necessário trocar informação de sinalização com o sistema, a um ritmo muito mais alto que o *SACCH*, pode fazê-lo, mas “roubando” segmentos de voz de 20 ms para se efectuar essa sinalização. É o caso do *handover*, em que a interrupção não será sentida pelo utilizador porque o codificador de voz volta a transmitir os segmentos não transmitidos. É utilizado em *up/downlink* ponto a ponto.

Os canais lógicos podem ser usados em diferentes configurações, consoante a funcionalidade pretendida na utilização dos canais. As configurações possíveis são:

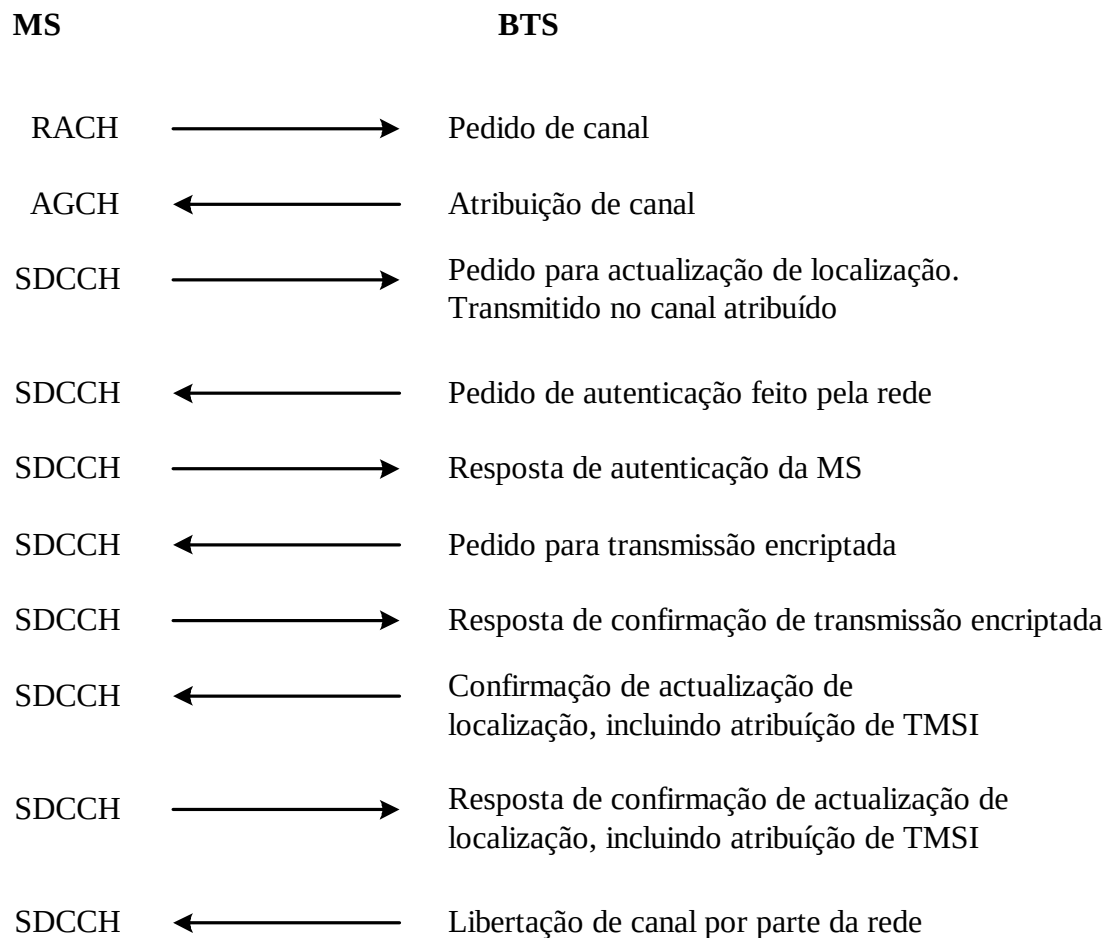
- I. TCH/FS+FACCH/FS+SACCH/FS;
- II. TCH/HS(0,1)+FACCH/HS(0,1)+SACCH/HS(0,1);
- III. TCH/HS(0)+FACCH/HS(0)+SACCH/HS(0) +
TCH/HS(1)+FACCH/HS(1)+SACCH/HS(1);

- IV. FCCH + SCH + CCCH + BCCH;
- V. FCCH + SCH + CCCH + BCCH + SDCCH/4 + SACCH/4;
- VI. CCCH + BCCH;
- VII. SDCCH/8 + SACCH/8.

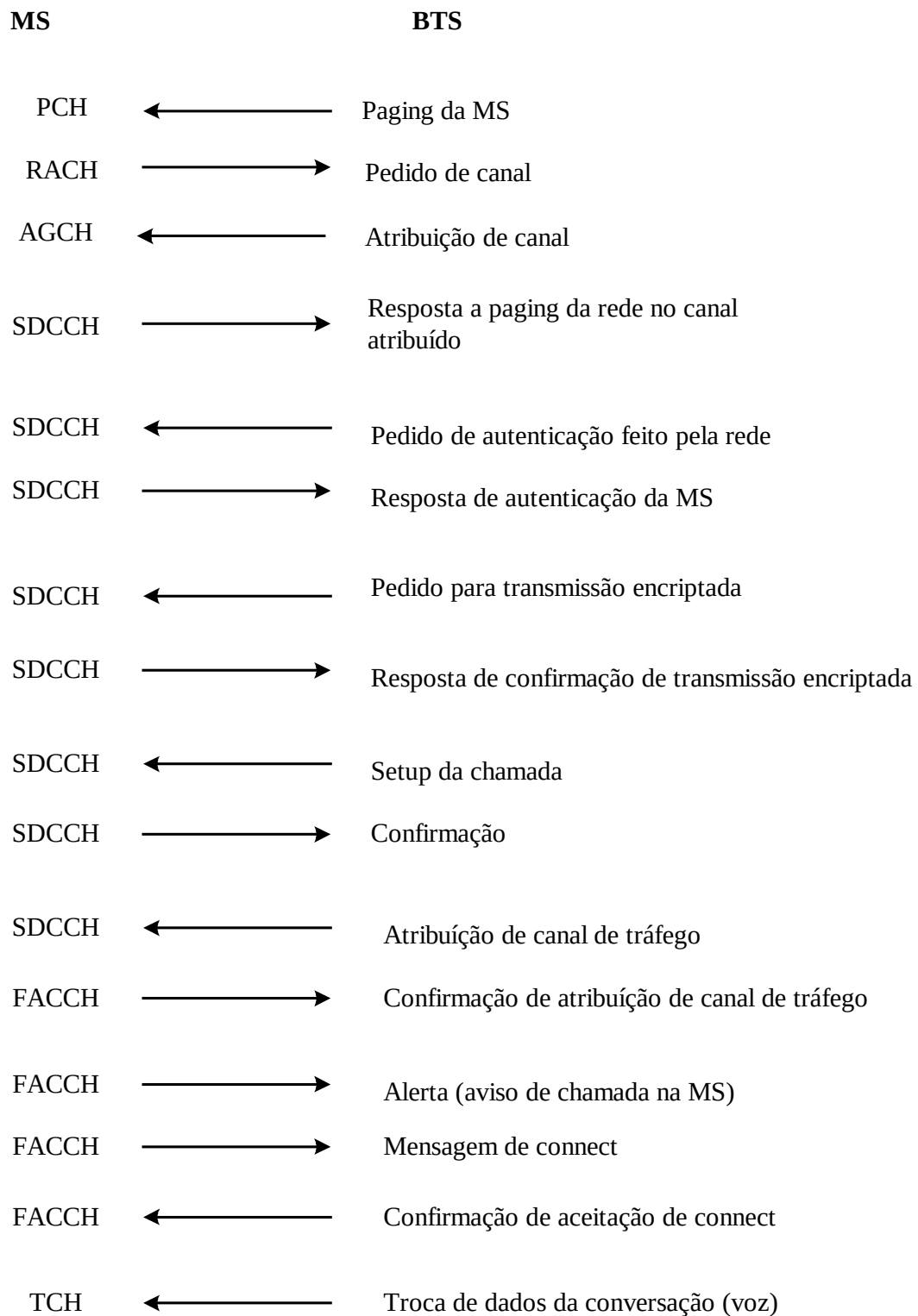
Em termos de direcionalidade dos canais pode-se apresentar de uma forma resumida o seguinte quadro:

Tipo de canal lógico	Sentido de comunicação
TCH	bidireccional
FACCH	bidireccional
BCCH	BTS para MS
FCCH	BTS para MS
SCH	BTS para MS
RACH	MS para BTS
PCH	BTS para MS
AGCH	BTS para MS
SDCCH	bidireccional
SACCH	bidireccional

A seguir apresentam-se exemplos de actualização de localização e estabelecimento de chamada terminada na MS, com os canais associados a cada operação.



Actualização de localização



Estabelecimento de chamda terminada na MS

Mapeamento de canais lógicos nos canais físicos

Utilizar um canal significa transmitir *bursts* em instantes específicos no tempo e frequência, ou seja *slot* específico. Geralmente os *slots* de um canal não são contíguos no tempo, tendo por isso um canal uma definição temporal que dá, para cada *time slot*, o número de *slots* que fazem parte do canal. Esta definição é cíclica mas varia de acordo com o tipo de canal.

Frequência de um canal define-se como sendo a frequência de cada *slot* pertencente ao canal. Existem canais de frequência fixa para os quais a frequência é a mesma para cada *slot*, e canais de frequência variável, *hopping*, cujos *slots* podem utilizar frequências diferentes.

Para canais bidireccionais, por exemplo *TCH*, as duas direcções poderiam ser definidas de diversas formas, mas por razões de simplicidade, as definições do canal para as duas direcções são sempre relacionadas de uma maneira bastante simples: um espaço para a frequência fixa, *duplex separation*, de 45/75 MHz e um tempo de guarda, que depende do tipo de canal, que separa dois *slots* correspondentes de um dado canal.

Cada MS envia um ou mais *bursts* para a *BTS*, estando os *bursts* de todos os MS's sincronizados de forma a ocuparem *slots* não sobrepostos numa trama *TDMA*. Esta sincronização é realizada de modo a permitir que no momento da chegada só exista um *burst*, evitando assim colisão com *bursts* de outras fontes. Em resposta, a *BTS*, enviará também *bursts* para os móveis.

Com este sistema é conseguido um acesso múltiplo, ou seja uma multiplicidade de MS's que podem utilizar a rede simultaneamente, ocupando assim *time slots* na trama TDMA, ou seja **canais físicos**.

Da mesma forma que a estrutura da trama TDMA permite a existência de time slots ordenados no tempo numa portadora, existem estruturas multi-trama constituídas por números fixos de tramas TDMA que possibilitam a ordenação dos canais lógicos pelos diversos time slots. Os canais de tráfego estão desta forma associados a uma estrutura de multitrama de tamanho contendo 26 tramas TDMA e os canais de sinalização associados a estruturas com 51 tramas. De momento apresentam-se as estruturas de trama mais comuns, não referindo a sua distribuição no tempo em termos de time slots.

Estrutura da trama para canal de tráfego (Tipo I)

Nesta estrutura as 12 primeiras tramas estão reservadas para canais de tráfego ao ritmo de 9.6, 4.8 e 2.4 kbps. A 13ª trama reservada para o SACCH é seguida de outras 12 tramas associadas aos canais de tráfego, mantendo-se a última trama vazia. A última trama vazia disponibiliza o tempo necessário à MS para realizar outras tarefas, como monitorização da potência

do sinal proveniente das diversas estações base. O tempo total da trama é 26 4.615 ms=120 ms.

Estrutura da trama para canal de tráfego (Tipo II ou III)

Os canais de voz de meio débito (half rate) podem ser agrupados em conjuntos de 2 numa estrutura de 26 tramas, sendo as tramas dentro da estrutura atribuídas alternadamente a cada um dos canais. Nesta estrutura a trama nº 13 é reservada ao SACCH do primeiro canal e a ultima trama já não se encontra vazia na medida em que é reservada ao SACCH do Segundo canal. Nesta situação tem-se a estrutura de trama apresentada a seguir.

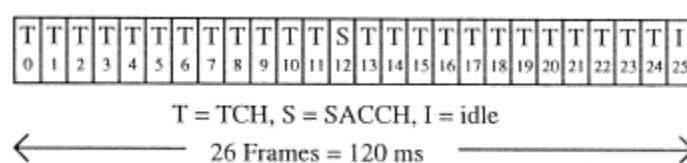
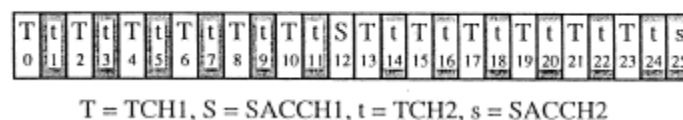


Figure 5.13 Frame structure for TCH/FS.

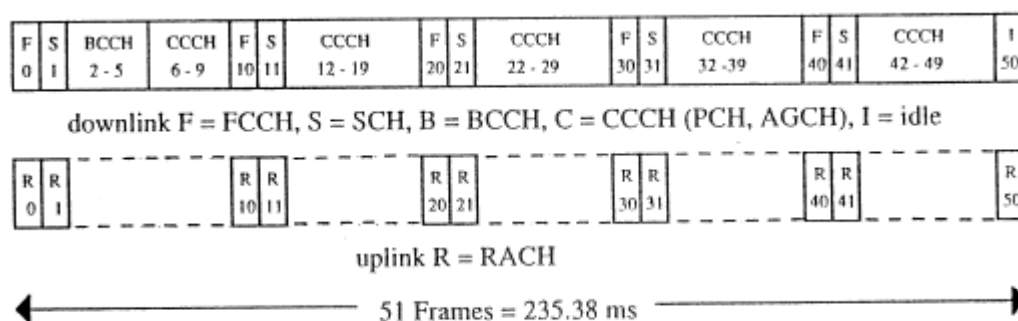


No caso de só ser necessário um canal de meio débito, as tramas de ordem impar ficam vazias, de acordo com o que se encontra representado na figura anterior.

Estruturas associadas a informação de sinalização.

A primeira estrutura multi-trama usada para sinalização, combina simultaneamente 4 canais em 51 tramas. Esta estrutura contempla a combinação IV, apresentada anteriormente e está associada a canais bidireccionais entre MS e BTS. Esta combinação de canais é utilizada em células com vários TRXs, com elevado tráfego nos canais do tipo CCCH. É atribuída a uma célula uma única vez, já que os canais FCCH e SCH são específicos da célula. É transmitido no time slot 0 em qualquer uma das portadoras disponíveis na célula. A portadora usada para esse efeito é posteriormente usada pelas células adjacentes para identificação da célula transmissora como célula adjacente (significa que os terminais móveis presentes em células adjacentes usam esta frequência para efeitos de medição da potência emitida por esta célula). Embora esteja associada a canais de comunicação bidireccional, as estruturas são distintas quando se considera downlink e uplink. Para o downlink, são atribuídas 36 tramas para canais do tipo CCCH que podem ser do tipo PCH (no caso de uma chamada para a MS) ou AGCH (na atribuição de um canal à MS). São igualmente reservadas 10 tramas para os canais FCCH e SCH em cinco conjuntos de duas

tramas em posições contíguas ao longo da trama. Isto possibilita a sincronização em frequência da MS antes do sincronismo de timing, dada a transmissão do FCCH antes do SCH. No uplink, a estrutura multitrama é somente usada para transmissão dos bursts associados ao RACH, necessários aos pedidos de canal por parte da MS. A organização dos canais pelas diferentes tramas é a que consta na próxima figura.



A combinação V, formada por:

FCCH + SCH + CCCH + BCCH + SDCCH/4 + SACCH/4

é usada em células sujeitas a pouco tráfego (um TRX ou dois TRXs) ou células de pequena dimensão. O envio desta combinação obedece às mesmas regras da combinação anterior, isto é, envio no time slot 0 e é única na célula. Esta combinação e a IV são mutuamente exclusivas já que não podem coexistir na mesma célula.

downlink BCCH + CCCH + 4 SDCCH/4, F = FCCH, S = SCH

1.	F	S	BCCH	CCCH	F	S	CCCH	CCCH	F	S	SDCCH 0	SDCCH 1	F	S	SDCCH 2	SDCCH 3	F	S	SACCH 0	SACCH 1	I							
	0	1	2	3, 4, 5	6	7	8, 9	10	11	12	13, 14, 15	16	17, 18, 19	20	21	22, 23, 24, 25	26	27, 28, 29	30	31	32, 33, 34, 35	36, 37, 38, 39	40	41	42, 43, 44, 45	46	47, 48, 49	50
2.	F	S	BCCH	CCCH	F	S	CCCH	CCCH	F	S	SDCCH 0	SDCCH 1	F	S	SDCCH 2	SDCCH 3	F	S	SACCH 2	SACCH 3	I							
	0	1	2	3, 4, 5	6	7	8, 9	10	11	12	13, 14, 15	16	17, 18, 19	20	21	22, 23, 24, 25	26	27, 28, 29	30	31	32, 33, 34, 35	36, 37, 38, 39	40	41	42, 43, 44, 45	46	47, 48, 49	50

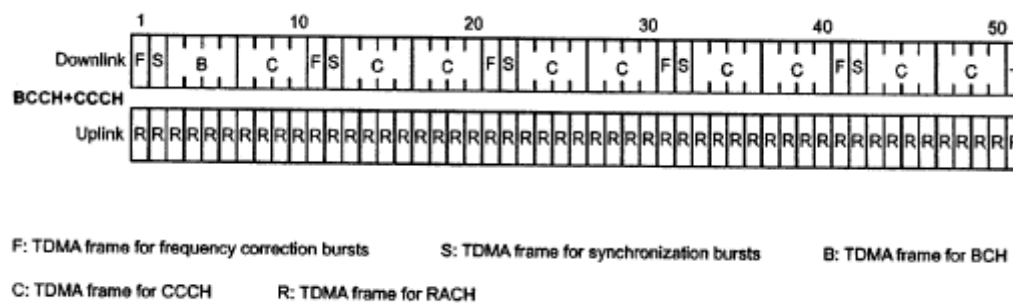
uplink R = RACH + SDCCH/4

51 Frames = 235.38 ms

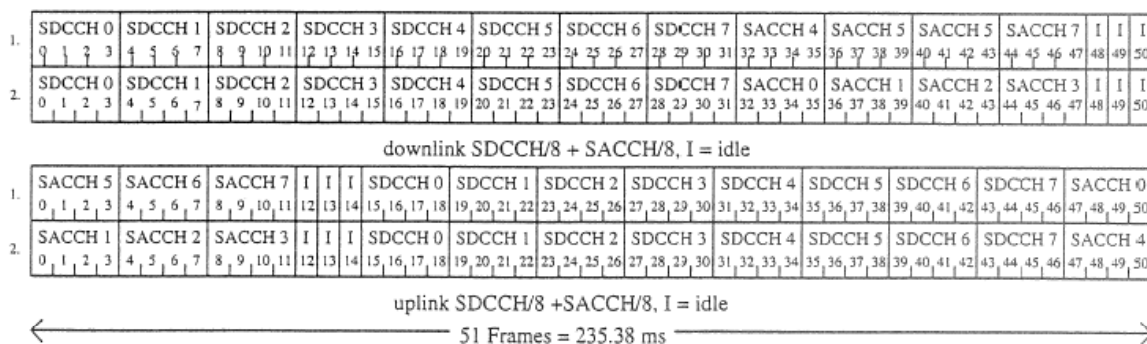
Para células de sujeitas a níveis de tráfego muito intensos, pode ser adopta da a combinação VI, formada por:

96

Esta combinação é usada quando a combinação IV não garante os níveis de serviço solicitados para uma célula e é usada numa célula conjuntamente com a combinação IV. Esta combinação é semelhante à combinação IV, com os canais FCCH e SCCH eliminados. A utilização desta combinação permite adicionar mais canais de controlo à célula, mas não substitui a combinação IV. A organização dos canais ao longo da multi-trama é realizada de acordo com o apresentado na próxima figura.

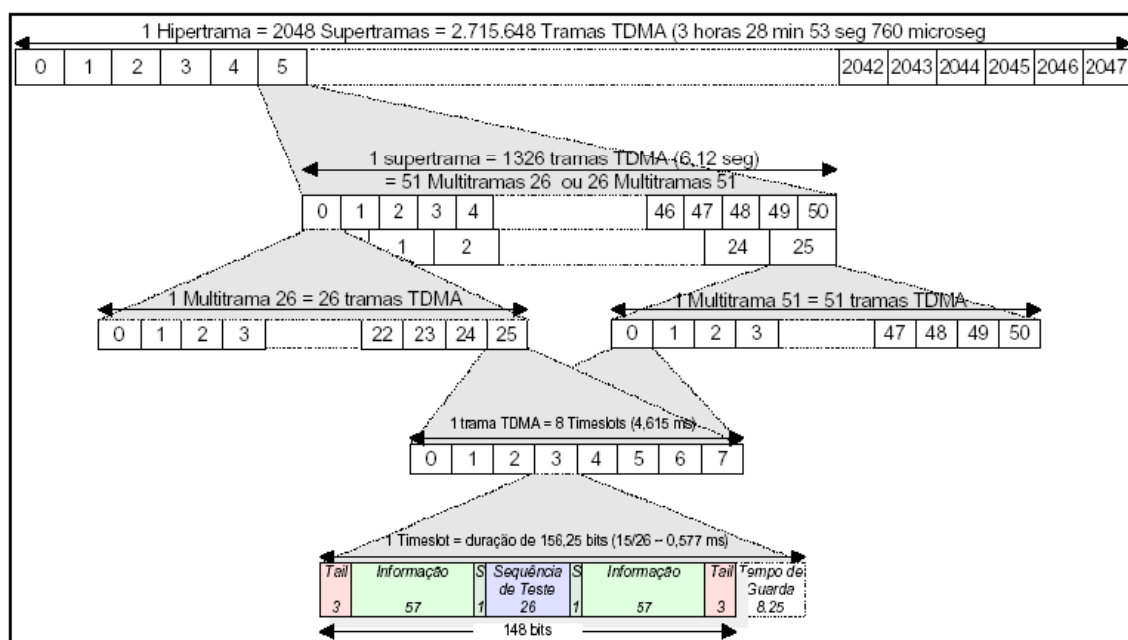
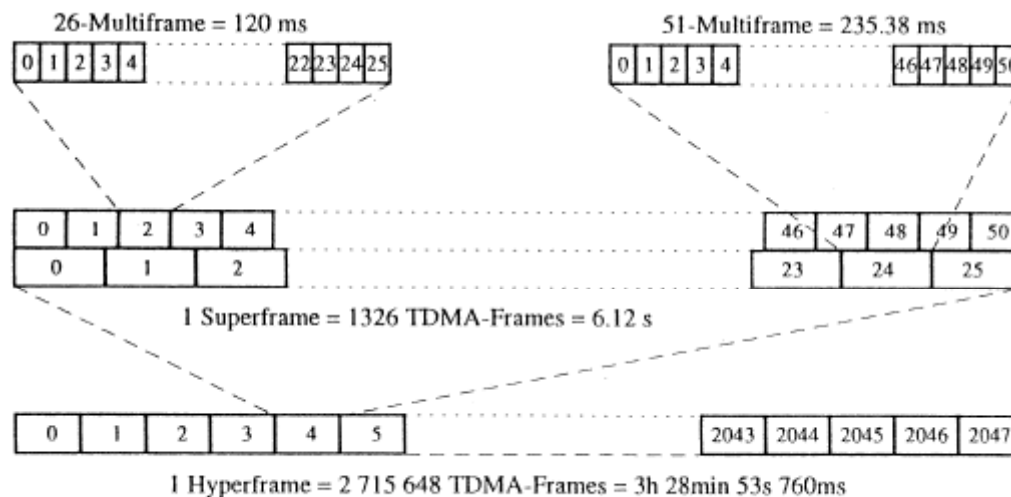


A utilização por parte de uma célula da combinação IV ou da associação da combinação IV com a VI, não garante os canais de sinalização necessários às operações de estabelecimento de uma chamada e registo (nestas operações estão envolvidos os canais SDCCH e SACCH). A associação da combinação VII permite adicionar sinalização necessária para a realização deste tipo de operações, para oito canais de sinalização em paralelo por cada canal físico (notar que se trata de SDCCH/8 + SACCH/8, portanto 8 canais SDCCH e 8 do tipo SACCH). A estrutura da multi-trama é a que se apresenta a seguir.



Dado que os canais comuns, FCCH, SCH, BCCH, PAGCH e RACH, estão associados a uma frequência fixa, não podem ser sujeitos a frequency hopping. Esta propriedade permite uma aquisição mais simples de sincronismo, uma vez que a MS para detectar um burst FCCH tem de detectar um burst SCH na mesma frequência. Como este burst é demasiado pequeno para conter a sequência de hopping para o BCCH, a forma mais simples de ultrapassar isto é colocar o BCCH na mesma frequência que o SCH. Se o PAGCH e o RACH fossem canais hopping, as suas sequências de hopping podiam ser difundidas no canal BCCH, mas iria tornar o sistema ainda mais complexo. Outra restrição imposta por este tipo de canais reside na transmissão continuada a eles associada, mesmo em situações em que a informação é insuficiente para preencher os bursts. Esta restrição deve-se à presença de MSs em células vizinhas que têm de realizar medições de potência nas portadoras associadas a este tipo de canais, de forma a assinalar a necessidade de um eventual handover entre células.

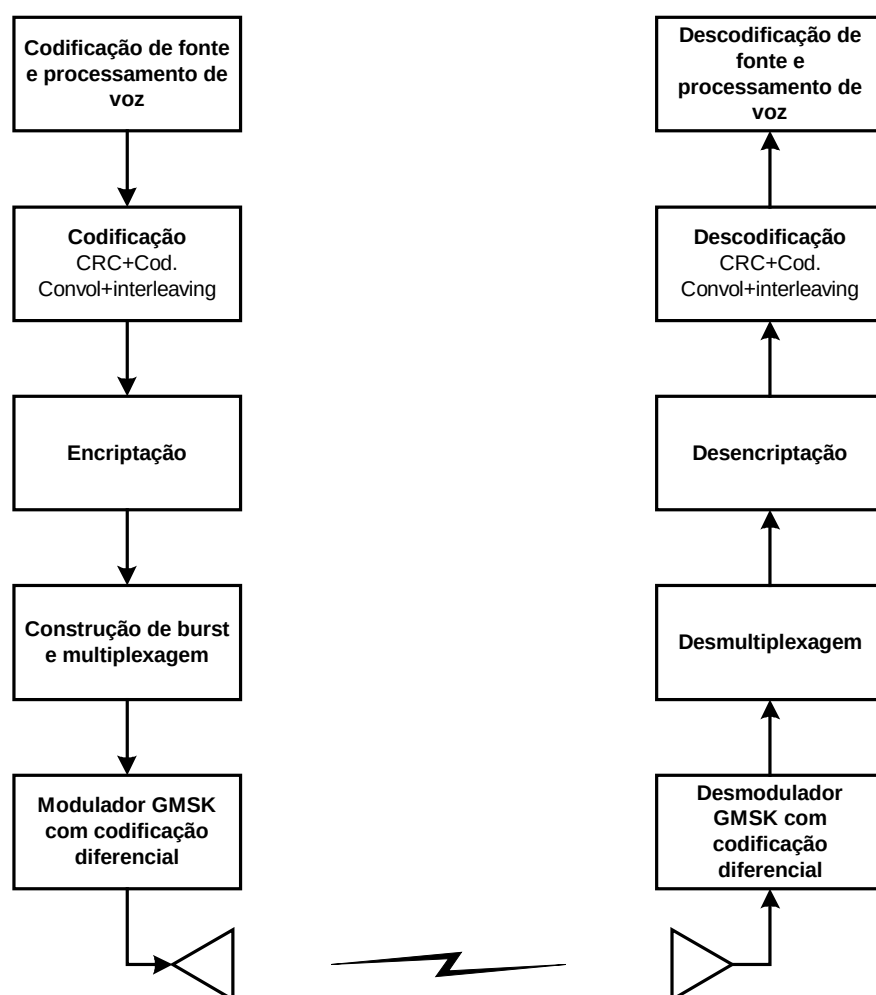
Existem ainda as estruturas de super trama e hiper trama definidas a partir das estruturas descritas atrás. A construção destes tipos de tramas é realizada de acordo com o exemplo apresentado a seguir.



Hierarquia de tramas no GSM

Codificação de voz e compressão de dados no GSM.

A transmissão de uma conversação em GSM baseia-se nos passos assinalados no diagrama da figura apresentada a seguir. Primeiro realiza-se a codificação/compressão do sinal de voz, seguindo-se a adição do CRC e codificação dos dados com recurso a um codificador convolucional, para protecção dos dados contra erros. Precede-se então à encriptação dos dados e posterior construção dos burts e sua multiplexagem nos canais de tráfego.

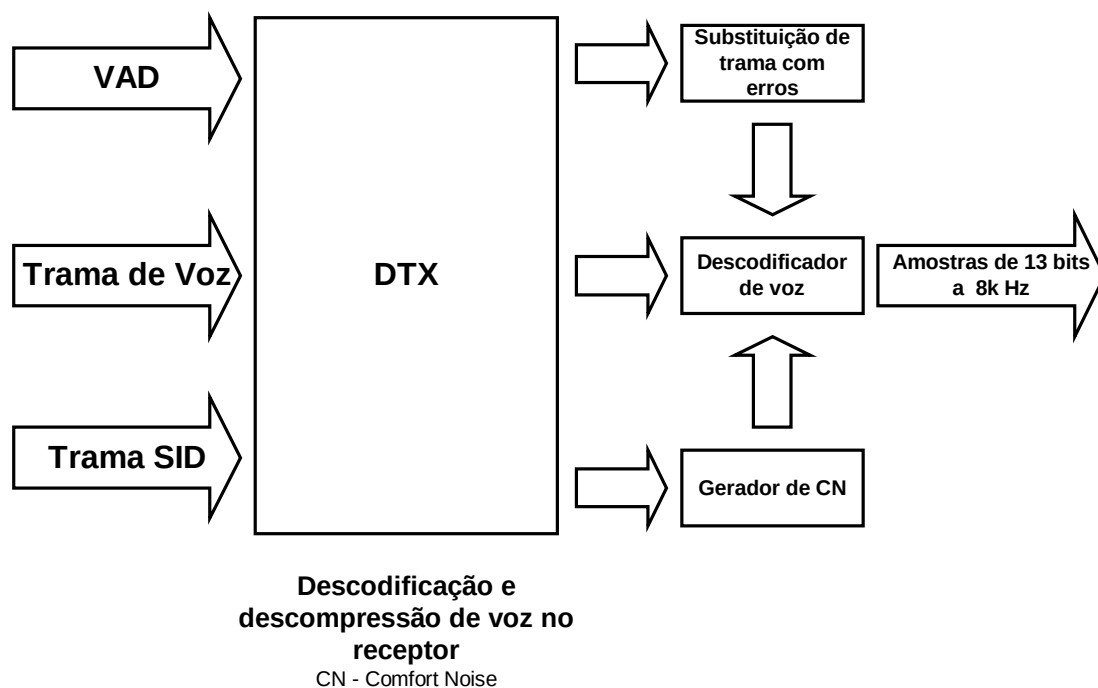
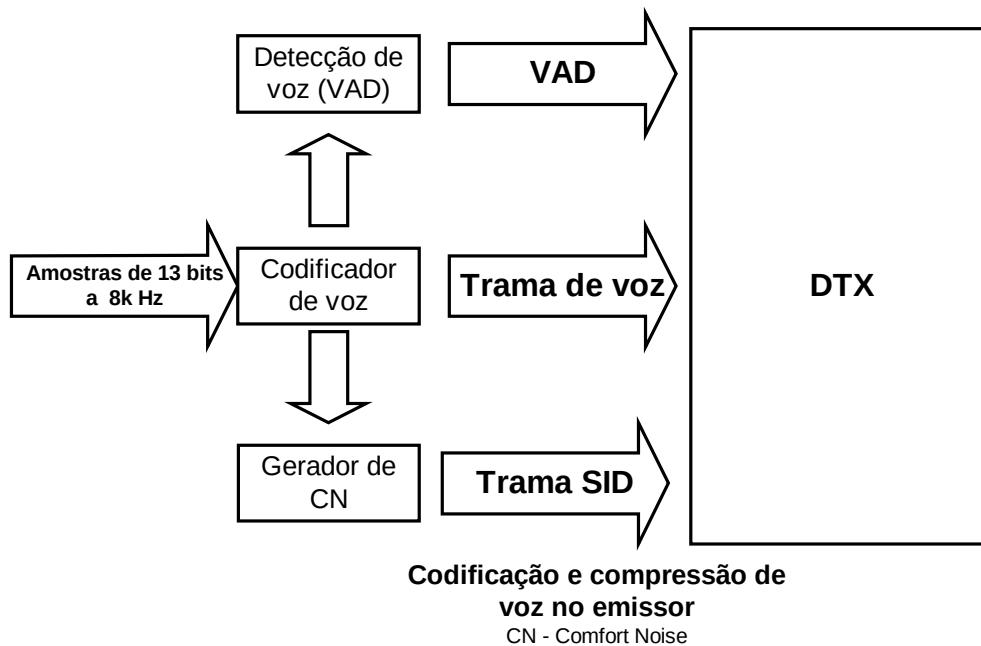


Por fim recorre-se à modulação GMSK com codificação diferencial (ver acetatos de transmissão em portadora sinusoidal) , para envio dos dados pelo canal.

Dos passos anteriores, a encriptação, construção de burts/multiplexagem e o modulador já foram analisados em detalhe, pelo que se procede agora à análise do processo de codificação de fonte ou voz. O processo de adição do CRC e codificação convolucional são por sua vez descritos em detalhe mais à frente neste documento.

No GSM o sinal de voz gerado pelo transmissor é amostrado à frequência de 8000 Hz, sendo as amostras quantizadas em 2^{13} níveis distintos. A quantização com 13 bits, das amostras obtidas a uma frequência de 8 kHz, traduz-se por um ritmo de 104 kbps. A codificação da voz é essencial no GSM, já que baseando-se na redundância do sinal de voz, permite realizar uma compactação do sinal, à qual está associado um ritmo de transmissão mais baixo.

As funções de codificação/descodificação do sinal de voz, no emissor e receptor, são combinadas no bloco correspondente ao CODEC (Coder/DECoder). A seguir apresentam-se os esquemas referentes ao codificador e decodificador usados no sistema.



Outro aspecto importante reside na poupança de energia, possibilitada pela utilização do VAD (Voice Activity Detection). A função do VAD consiste na detecção de

actividade de voz, analisando para esse efeito as tramas de dados de voz geradas pelo codificador (tramas de 260 bits são analisadas de forma a verificar se tratam de dados relativos a voz ou a uma pausa na conversação). A decisão realizada quanto ao tipo de trama é comunicada ao bloco DTX (Discontinuous Transmission), possibilitando um modo descontínuo de transmissão, na medida em que a amplificação só é realizada para as tramas cuja a detecção de actividade de voz é positiva. O modo descontínuo de transmissão implementado no DTX, permite reduzir o consumo de potência e consequentemente prolongar a duração da bateria. Convém salientar que o DTX tira partido do facto de não ser usual as duas partes envolvidas numa conversação, estarem a falar em simultâneo, sendo normal que cada uma fale somente em 50% do tempo.

Numa situação de ausência de trama de voz, esta é substituída no receptor por um sinal de ruído (CN –Confort Noise) gerado localmente de acordo com os parâmetros enviados na trama SID (Silence Descriptor). Este tipo de trama é enviado pelo emissor e antecede sempre uma pausa no sinal de voz, de forma a permitir que o receptor detecte uma pausa de voz e inicie a geração do ruído de conforto. Note-se que o ruído gerado localmente, ao ser introduzido no sistema em substituição do ruído típico do sistema, funciona ao nível do ouvinte como uma contra medida ao efeito de contraste de ruído.

Numa situação de erro sem possibilidade de correcção em diversas tramas, estas são assinaladas pelo decodificador por meio do indicador BFI (Bad Frame Indication), sendo substituídas por tramas obtidas localmente com base em previsões realizadas pelo estimador, a partir da trama anterior recebida com sucesso. Numa situação de falha de 16 tramas consecutivas, não é realizada nenhuma previsão, limitando-se o sistema a assinalar com um sinal acústico a falha de canal.

O processo de codificação/descodificação de voz processa-se segundo os diagramas de blocos apresentados a seguir:

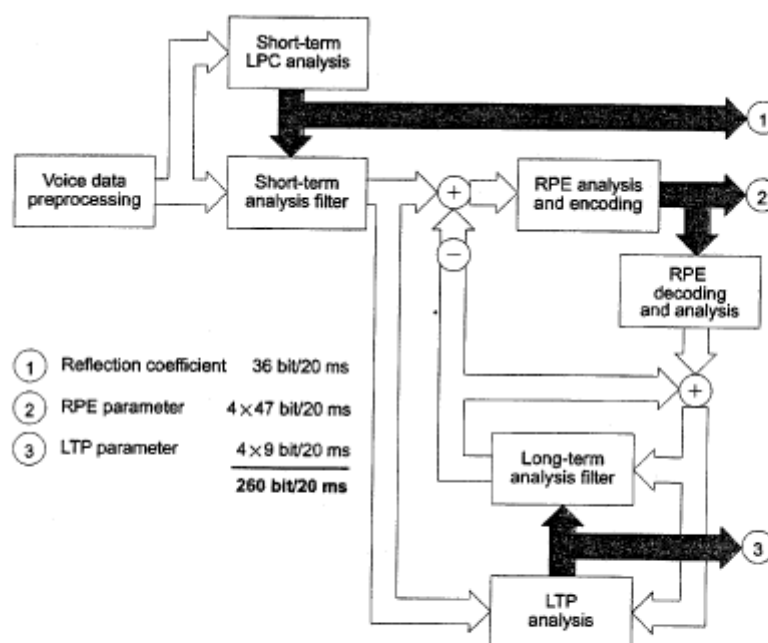


Diagrama de blocos do codificador de voz do GSM

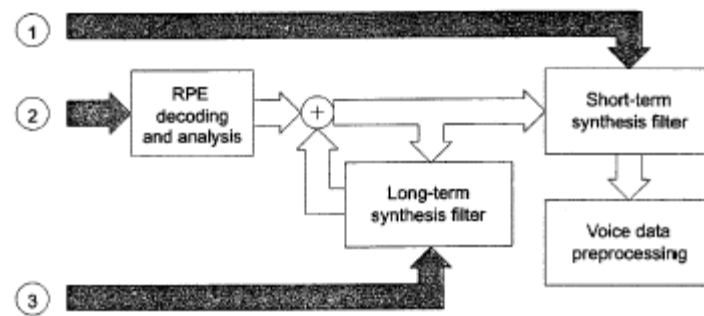


Diagrama de blocos do decodificador de voz do GSM

Na entrada do codificador apresentam-se tramas de 160 símbolos com 13 bits de 20 em 20 ms. A compressão realizada pelo codificador permite que o sinal de voz se divida em blocos de 260 bits, transmitidos a um ritmo de 13 kbps, o que se traduz numa taxa de compressão de 8. Esta compressão é conseguida mediante a realização do procedimento RPE-LTP (Regular Pulse Excitation - Long-Term Prediction- Linear Predictive Coder). O GSM usa um codificador de voz misto, associando PCM (Pulse Code Modulation) ou ADPCM (Adaptative Pulse Code Modulation) com o LPT.

De acordo com o diagrama de blocos anterior, os dados de voz apresentados na entrada do codificador são divididos em três componentes:

- Conjunto de parâmetros chamado coeficientes de reflexão, para ajuste do filtro de análise de duração curta LPC.
- Um sinal de excitação para o RPE, no qual se eliminaram as partes irrelevantes e se realizou compressão.

- Conjunto de parâmetros para controlo do filtro de análise de duração longa LPT. O LPC e LPT geram 36 bits de parâmetros em cada bloco que conjuntamente com os 188 bits de parâmetros obtidos pela compressão realizada pelo RPE, perfazem os 260 bits do bloco apresentado na saída do codificador.

O codificador elimina componentes dc presentes no sinal de voz e utiliza um filtro de pré-ênfase para reforçar as altas-frequências presentes no sinal. Após a operação anterior o filtro LPC reduz a gama dinâmica do sinal e obtém os respectivos valores dos coeficientes. No filtro LPT são calculados os coeficientes associados a este filtro, obtendo-se uma nova estimativa do bloco baseada no bloco actual e blocos anteriores. Esta estimativa é subtraída ao bloco de dados recebidos, sendo a diferença o sinal de entrada do codificador RPE (Notar que se trata do ADPCM). Com o ADPCM elimina-se a redundância do sinal e como tal permite obter a taxa de compressão de 1 para 8 referida anteriormente. O RPE ao eliminar informação irrelevante do sinal, desnecessária para a compreensão pelo ouvido humano do sinal de voz, garante uma compressão adicional dos dados. Em termos da qualidade do sinal de voz obtido com este processo, o RPE-LPT tem um valor de MOS (Mean Opinion Score) de 4 (notar que os valores deste

parâmetro variam entre 1 e 5, correspondendo o 5 a uma qualidade de sinal excelente).

No receptor as operações efectuadas consistem basicamente no inverso das operações realizadas no codificador.

Interleaving

O desempenho associado ao processo de descodificação do código convolucional depende da ocorrência de rajadas de erros durante o processo de transmissão. Longas rajadas de erros devido a desvanecimentos profundos dão origem a longas sequências de bits errados, que se repercutem na capacidade correctora do código utilizado.

Para se evitar este fenómeno (equivalente a assumir que o canal apresenta memória) é conveniente garantir independência estatística dos erros de bit. Isto pode ser conseguido distribuindo os erros ao longo da sequência transmitida para o canal, mediante a aplicação de interleaving.

Existem várias formas de realizar o interleaving, havendo processos em que se altera a ordem dos bits codificados de maneira que na sequência enviada para o canal não se tenham bits contíguos que estejam associados a palavras de códigos adjacentes na saída do codificador.

No GSM o interleaving consiste na dispersão dos bits codificados pertencentes a um bloco de informação por vários bursts, sendo o número de bursts usados o parâmetro definidor da profundidade do interleaving usado.

Assim os bits de um bloco são dispersos por vários bursts, evitando-se que os bits adjacentes de um bloco de dados codificado sejam adjacentes quando se realiza a transmissão no

canal. Desta forma os bits de um bloco são espalhados por diversos bursts, segundo uma técnica chamada interleaving diagonal. Com esta técnica de interleaving diagonal, as rajadas de erros são distribuídas uniformemente por diversos blocos, evitando-se a ocorrência de rajadas de erro longas em cada um dos blocos de informação recebidos.

O segundo tipo utilizado, chamado interleaving de bloco consiste em escrever as sequências de palavras de código presentes em cada bloco linha a linha numa matriz e enviar posteriormente coluna a coluna. Desde que o tamanho das rajadas de erro seja inferior à profundidade de interleaving, garante-se que existem somente erros simples nas palavras existentes em cada bloco.

No GSM utiliza-se a combinação dos dois tipos de interleaving referidos anteriormente, dependendo a regra e profundidade do interleaving usado do tipo de canal. A título de exemplo, pode-se referir que nos canais TCH/FS é utilizado um interleaving de bloco associado a interleaving diagonal.

Tipo de canal	Profundidade de interleaving
TCH/F voz	8
TCH/H voz	4
TCH/F 14.4 kbps	19
TCH/F 9.6 kbps	19
TCH/F 4.8 kbps	19
TCH/H 4.8 kbps	19
TCH/F	8
TCH/F voz	19
FACCH full rate	8
FACCH half rate	8
SDCCH	4
SACCH/TCH	4
SACCH/SDCCH	4
DCCH, AGCH, PCH	4

A título de exemplo apresenta-se de seguida o processo de interleaving relativo à combinação dos canais TCH/F 2.4 e FACCH. Neste caso o bloco de informação tem 456 bits, que é dividido em 8 sub-blocos que são posteriormente espalhados por 8 bursts. O interleaving realizado, processa-se da seguinte forma:

- Divisão dos 456 bits em 8 sub-blocos segundo a regra:
Bit i para bloco $I+1$ com $I = i \bmod 8$

Logo a distribuição dos bits é realizada mediante uma operação de divisão inteira por 8.

Uma vez criados os 8 sub-blocos, os bits respectivos vão ser mapeados nos 8 bursts de acordo com a regra:

- 4 primeiros sub-blocos colocados nos bits pares de quatro bursts consecutivos
- 4 últimos sub-blocos colocados nos bits ímpares dos quatro bursts seguintes ao conjunto de bursts considerado anteriormente

Desta forma, cada burst terá os bits associados a dois blocos de dados de voz consecutivos, sendo os bits pares dos bursts de ordem $B+4, \dots, B+7$ ocupados pelos bits provenientes do bloco de dados de ordem $N+1$ e os ímpares dos bits provenientes do bloco de dados de ordem N .

É possível descrever o processo sucintamente na forma:

Blocos de ordem n com $C_{n,k}$ bits com $K = 0, \dots, 455$ e $n = 0, 1, \dots, N, N+1, \dots$

Regra de mapeamento dos bits nos sub-blocos

Índice b de sub-bloco obtido mediante a expressão

$$b = b_0 + (k \bmod 8)$$

Logo admitindo $b_0 = 0$ e $n = 0$ tem-se:

K par $b=0, b=2, b=4, b=6; b=8$

K ímpar $b=1, b=3, b=5, b=7$

Regra de posicionamento dentro do burst de ordem N

8 bits do bloco de dados de voz posicionados no mesmo burst, com bits na posição j do burst posicionados de acordo com a expressão:

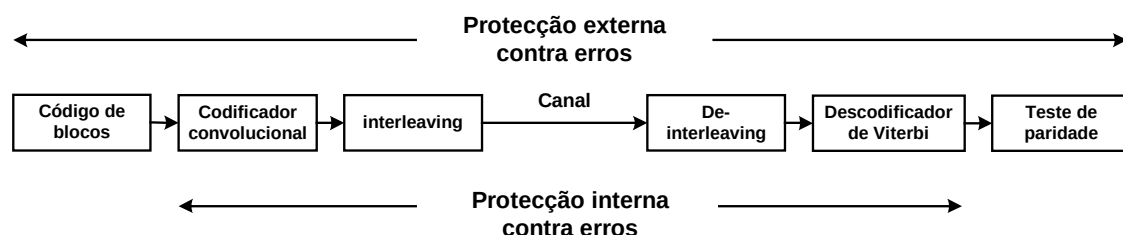
$$j = 2((49k) \bmod 57) + ((k \bmod 8) \text{div} 4)$$

Na expressão anterior, o 1º termo define o deslocamento dentro do burst resultante do interleaving e o 2º define o posicionamento dos bits pares e ímpares.

Codificação de canal no GSM

A variabilidade do canal, o efeito multi-percurso e fading degradam consideravelmente o desempenho do sistema, chegando a apresentar valores de BER entre 10^{-3} e 10^{-1} . Com estes valores é impossível garantir um serviço de dados ou mesmo um serviço de voz com qualidade aceitável. O emprego de códigos com capacidade de detecção e correcção de erros permite reduzir a Ber para valores na ordem 10^{-5} , à custa da introdução de bits redundantes. Também devido ao tipo de canal o recurso a interleaving evita a ocorrência de erros em rajada, contribuindo para a melhoria do desempenho do sistema.

No GSM, utilizam-se vários níveis de codificação, associados por sua vez a um interleaving na transmissão, conforme se exemplifica a seguir:



Assim pode-se dizer que existe uma codificação externa baseada em códigos de blocos que introduz bits de paridade, para detecção de erros no bloco de informação. É utilizada uma protecção adicional contra os erros introduzidos pelo canal mediante a utilização de um código convolucional, sobre os bits resultantes da aplicação do código externo. Note-se que ao nível do codificador convolucional pode ser realizada a perfuração do código, mediante a eliminação de bits na saída do codificador. Existindo perfuração a rate do código aumenta, aumentando o ritmo efectivo de transmissão, já que o número de bits redundantes baixa. A perfuração é necessária para adaptação do ritmo aos ritmos definidos para os diversos canais lógicos do GSM.

Por fim procede-se ao baralhamento dos bits a enviar, por meio de um interleaver. O efeito do interleaver ao baralhar numa outra ordem sequencial os bits, permite evitar que fadings profundos afectem vários bits consecutivos da sequência original. Esta situação pode dar origem a uma rajada de erros, dificilmente corrigida ou detectada por um código.

Na recepção os bits recebidos são repostos na sequência original no de-interleaver, sendo posteriormente descodificados mediante o recurso a um descodificador de Viterbi. Após o processo de descodificação, é realizado o teste de paridade baseado no CRC do código externo (somente quando este existe). Notar que um código externo que permita somente a

detecção de erros está necessariamente associado a esquemas ARQ (Automatic Repeat reQuest), onde é solicitada a retransmissão da trama numa situação de detecção de erro.

A existência e tipo de código interno e externo dependem do tipo de canal, já que os requisitos em termos de QoS são distintos nos diferentes canais.

A seguir consideram diversos tipos de canais, exemplificando os respectivos processos de codificação e interleaving.

Canais de tráfego de Voz (TCH Speech channels)

Um bloco completo de um codec de voz tem 260 bits de dados. Consoante a classe os bits dos codecs são agrupados em blocos de tamanhos diferentes. Os dados associados à voz são codificados em dois passos. No primeiro passo utiliza-se um código de blocos que adiciona 3 bits de paridade aos 50 bits da classe Ia. Estes bits de paridade permitem a detecção de erros que não tenham sido corrigidos pelo processo de descodificação associado ao código convolucional. No entanto não permite a correcção de erros.

Numa situação em que o código de blocos detecte um erro nos bits pertencentes à classe Ia, os 260 bits do bloco são descartados.

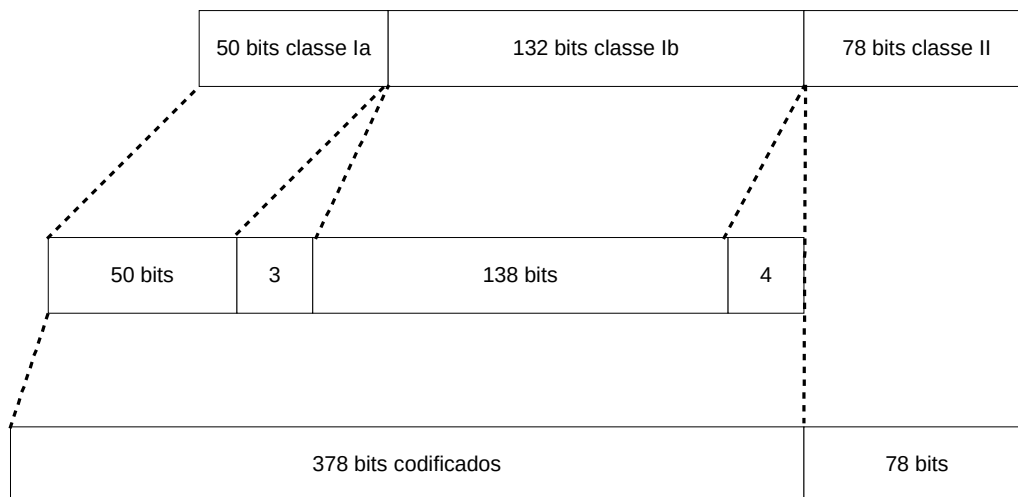
Quando se aplica o código interno, os bits da classe Ia e Ib bem como os bits de paridade, são codificados usando um código convolucional de rate $\frac{1}{2}$ e constrain length igual a 5. Para se

garantir independência entre sequências codificadas, associadas a blocos de informação consecutivos são adicionados 4 bits a 0, que garantem a inicialização do codificador convolucional.

O processo de codificação obedece aos seguintes passos:

- Adição do CRC com 3 bits de paridade aos 50 bits da classe Ia;
- Adição de 4 bits a 0 ao bloco formado pelos bits da classe Ia+ bits de paridade e bits da classe Ib;
- Codificação dos 189 bits resultantes;
- Adição aos 378 bits da saída do codificador dos 78 bits não protegidos da classe II.

Uma vez que um burst transporta 114 bits e que o interleaving é realizado mediante o espalhamento em 8 bursts, obtêm-se os sub-blocos de 57 bits já referidos atrás.



Codificação de canal de voz

Codificação em canais de dados

Como se viu anteriormente existem diversos tipos de canais tais como:

TCH/F 9.6

TCH/F 4.8

TCH/F 2.4

TCH/H 4.8

TCH/H 2.4

Para efeitos de exemplificação do processo de codificação consideram-se somente os canais TCH/F 9.6 e TCH/F 2.4.

Codificação no TCH/F 9.6

Neste tipo de canal não se utiliza o código de blocos externo, na medida em que o equipamento terminal já realiza detecção de erros. Os dados de utilizador, são divididos em 4 blocos de 60

bits perfazendo um total de 240 bits. Que são codificados pelo codificador convolucional de rate $\frac{1}{2}$ e constrain length igual a 5. Os passos realizados para codificação e interleaving consistem em :

- Adição de 4 bits para inicialização do codificador;
- Codificação com perfuração de 32 bits, de forma a ter-se $488-32=456$ bits na saída do codificador;
- Espalhamento dos blocos de informação obtidos na saída do codificador convolucional, por 22 bursts (trama FDMA 26), segundo o esquema de interleaving com profundidade 19.

O interleaving é realizado da seguinte forma:

- Divisão dos 456 bits em:
 - 16 partes de 24 bits
 - 2 partes de 18 bits
 - 2 partes de 12 bits
 - 2 partes de 6 bits
- Cada burst contém a informação de 5 ou 6 blocos consecutivos de forma a preencher os 114 bits de um burst.

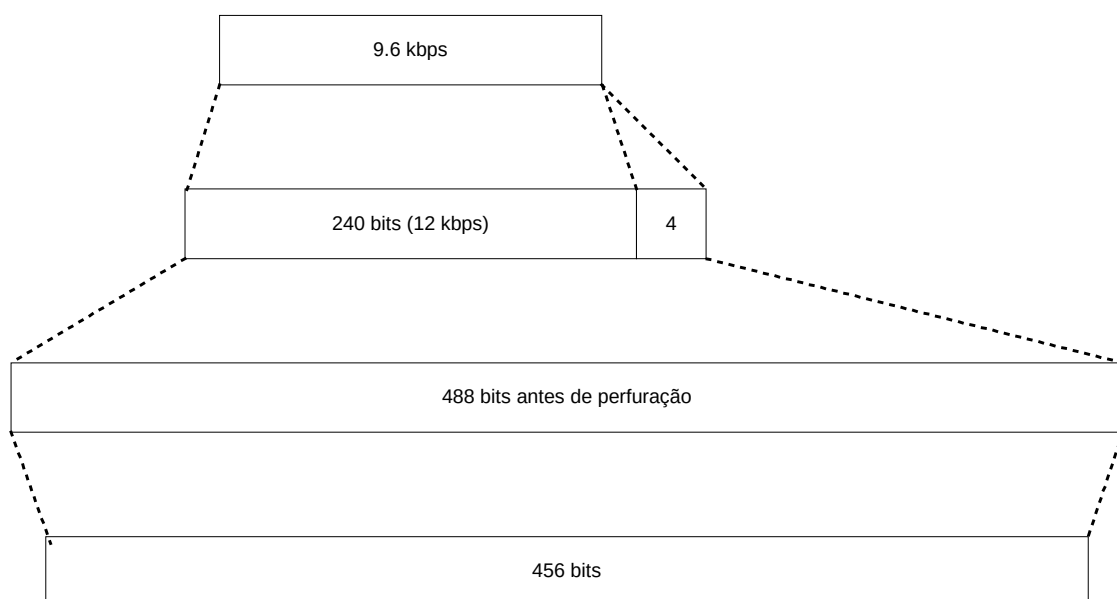
Logo tem-se:

- 4 x 24 bits
- 1 x 18 bits
- 1 x 12 bits
- 1 x 6 bits

Desta forma obtém-se o seguinte esquema para os bursts ou time slots presentes na trama:

Nº. Burst	
1, 22	2 x 6 bits
2, 21	2x 12 bits
3, 20	2 x 18 bits
4 a 19	16 x 24 bits

Convém frisar que cada burst corresponde a um dos 22 canais de tráfego da trama, que na sua totalidade acomodam os 456 bits.

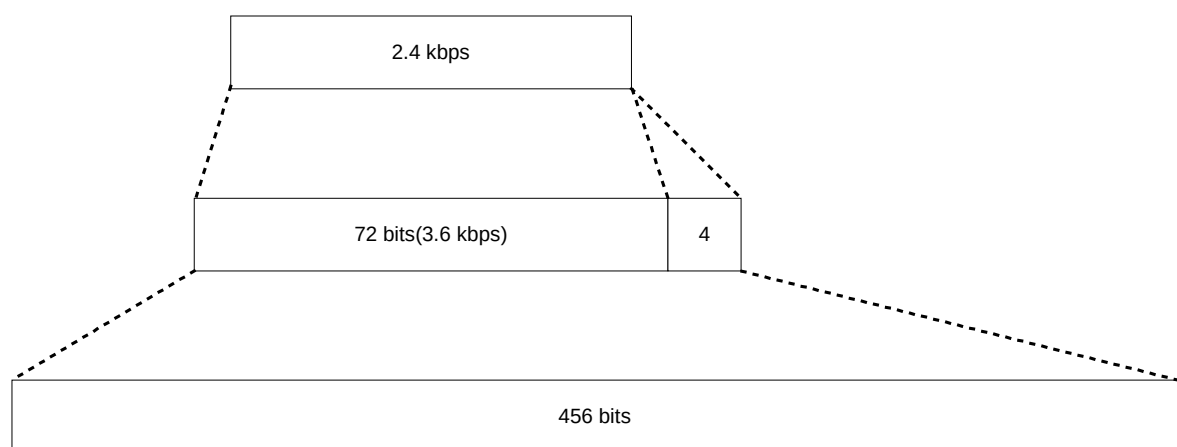


Codificação de canal de dados a 9.6 kbps

Codificação e interleaving no TCH/F 2.4

Os dados já com os bits associados ao processo de correcção de erros realizado ao nível do equipamento terminal, são enviados à taxa de 3.6 Kbps. Estes dados são divididos em blocos de 72 bits. A codificação realiza-se mediante o emprego de um codificador convolucional de rate 1/6 e constrain lenght igual a 5, sendo necessários os seguintes passos:

- Adição de 4 bits a 0 para inicialização do codificador;
- Geração de $6 \times 76 = 456$ bits codificados;
- Mapeamento dos 456 bits em oito sub-blocos de 57 bits, segundo o mesmo esquema empregue nos dados de voz (ver interleaving dos dados de voz).



Codificação de canal de dados a 2.4 kbps

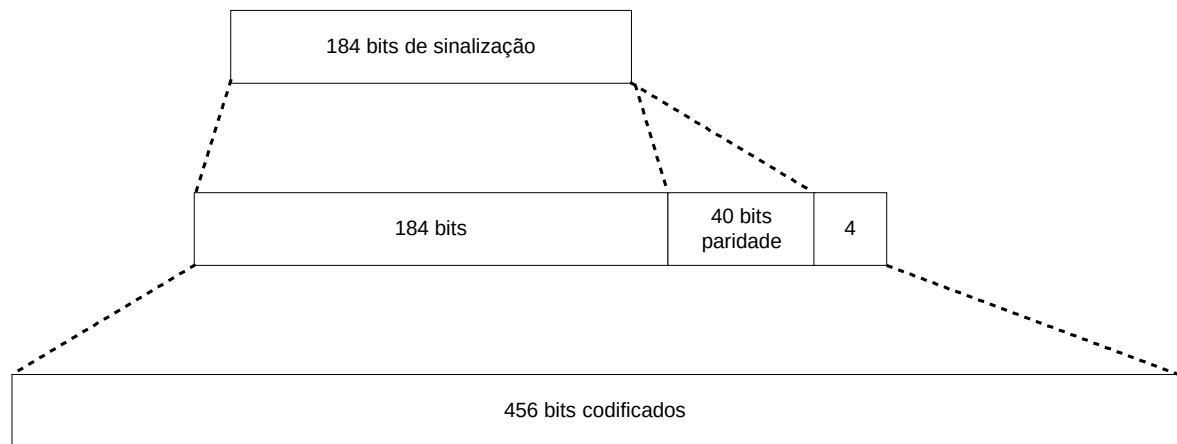
Codificação e interleaving nos canais de sinalização.

Dada a maior relevância dos dados de sinalização relativamente aos outros tipos de dados trocados na rede GSM, são usados os dois níveis de codificação, mas agora recorrendo para código

externo a um código do tipo Fire Code. No entanto o canal FCCH não se encontra codificado, sendo o método de codificação descrito a seguir válido para os canais BCCH, PCH, SDCCH e SACCH.

A codificação utiliza um código de blocos que adiciona 40 bits de paridade ao bloco de dados original. O bloco resultante é posteriormente codificado, utilizando um codificador convolucional de rate $\frac{1}{2}$ e constrain length igual a 5. Os passos realizados durante o processo de codificação são:

- Adição de CRC por meio da junção de 40 bits de paridade ao bloco de 186 bits;
- Adição de 4 bits a 0 ao bloco formado pelos 186 bits de sinalização e 40 bits de paridade, para inicialização do codificador convolucional;
- Divisão dos 456 bits obtidos na saída do codificador em 8 sub-blocos;
- Espalhamento dos 8 sub-blocos em 4 burst consecutivos segundo a regra:
- 4 primeiros sub-blocos nos bits de ordem par dos 4 bursts
- 4 últimos sub-blocos nos bits de ordem ímpar dos 4 bursts



Codificação de canais de sinalização

Apresentam-se a seguir de uma forma esquemática a caracterização dos códigos de blocos usados externamente e códigos convolucionais internos aplicados para cada tipo de canal.

Códigos de blocos

Tipo de canal	Polinómio gerador
TCH/F	$x^3 + x + 1$
SACCH, FACCH, SDCCH, BCCH, PCH, AGCH, DCCH e CCH	$(x^{23} + 1)(x^{17} + x^3 + 1)$
RACH	$(x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1)$
SCH	$(x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1)$

Códigos convolucionais

Código	Polinómio gerador
G0	$d^4 + d^3 + 1$
G1	$d^4 + d^3 + d + 1$
G2	$d^4 + d^2 + 1$
G3	$d^4 + d^3 + d^2 + d + 1$
G4	$d^6 + d^5 + d^3 + d^2 + 1$
G5	$d^5 + d^4 + d^2 + 1$
G6	$d^6 + d^4 + d^3 + d^2 + d + 1$

Códigos internos versus tipo de canal

Tipo de canal	Código
TCH/F I (voz)	G0,G1
TCH/F II (voz)	Nenhum
TCH/H I (voz)	G4,G5,G6
TCH/F II (voz)	Nenhum
TCH/F 14.4	G0, G1
TCH/F 9.6	G0, G1
TCH/F 4.8	G1, G2, G3
TCH/H 4.8	G0, G1
TCH/F 2.4	G1, G2, G3
TCH/H 2.4	G1, G2, G3
FACCH	G0, G1
SDCCH, SACCH	G0, G1
BCCH, AGCH, PCH	G0, G1
RACH	G0, G1
SCH	G0, G1